Guide

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

La R&D industrielle une clé pour l'avenir

Six cas exemplaires d'entreprises

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE
DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE

La R&D industrielle une clé pour l'avenir

Six cas exemplaires d'entreprises

DiGITIP

Direction générale de l'Industrie,
des Technologies de l'Information et des Postes

© Les Éditions de l'Industrie, Paris 2001
Collection Mode d'emploi

Conformément aux dispositions des articles 40 et 41 de la loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et artistique et au code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 :
- Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, ne peut être effectuée sans autorisation expresse et préalable des Éditions de l'Industrie, direction des Relations avec les Publics et de la Communication, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, 139, rue de Bercy, 75572 Paris cedex 12.
- Les copies ou reproductions doivent être strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et les analyses et courtes citations faites dans un but d'exemple et d'illustration.

ISSN : 1263-2139
ISBN : 2-11-092893-X

Préface

Les nouveaux continents

Toute recherche naît d'une hypothèse, toute solution procède d'une expérience. Soit un jeune entrepreneur dont le projet paraît prometteur mais qui peine à trouver des soutiens. Les avis autorisés estiment que son entreprise repose sur un montage improbable. Un concurrent direct vient d'élaborer une stratégie quasi identique. Son concept n'est d'ailleurs pas original : d'autres avant lui l'ont testé sans succès. Comble de malchance, ce jeune patron est étranger. A-t-il la moindre chance d'obtenir l'appui de l'Etat ?

A force de persévérance, au bout de huit ans de démarches, après avoir alternativement sollicité le roi du Portugal et la reine d'Espagne, résolu à se tourner vers le roi de France en cas de refus, Christophe Colomb – car il s'agit de lui – obtient enfin en 1492 les moyens d'explorer la voie maritime occidentale vers les Indes. Malgré ses erreurs de calcul. Malgré la découverte en 1487 par Bartolomeu Dias d'une autre route des Indes. Malgré les échecs des navigateurs qui l'avaient précédé.

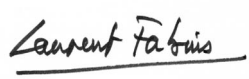
Aujourd'hui, les Nouveaux continents ont changé de nature et de dimension. Energies, matériaux, techniques, gènes, réseaux sont les champs d'innovation du développement économique et scientifique. Mais la volonté de savoir et le désir d'entreprendre restent intacts. Ils permettent aux découvreurs du XXI^{ème} siècle d'imaginer de nouveaux produits plus performants, plus efficaces, moins coûteux et de façonner de nouveaux concepts, de nouveaux marchés, de nouveaux emplois.

Comme les caravelles d'hier, les laboratoires de R&D étendent nos connaissances et diversifient leurs applications pratiques.

Ils contribuent à renforcer nos économies. C'est pourquoi les « nations puissances » et les « zones références » soutiennent activement leur R&D industrielle. Elles mobilisent à cette fin des moyens très divers : aides directes, prêts à taux privilégiés, commandes publiques, contrats de recherche civils ou militaires, les instruments ne manquent pas. C'est une donnée du jeu économique international que la France ne peut ignorer.

Bien sûr l'Etat n'est pas le seul acteur dans la lutte pour la matière grise : universités, entreprises, laboratoires, associations, consommateurs ont leur rôle à jouer. Au sein même de la sphère publique, par leur réactivité et leur proximité, les collectivités locales agissent comme un puissant accélérateur. Au total, les projets innovants ont désormais plus de chances d'aboutir.
Depuis la Renaissance, une certitude n'a pas varié : la découverte appartient au premier arrivé. Le fait que la Santa Maria, la Pinta et la Niña aient été « parrainées » par la reine d'Espagne plutôt que par d'autres souverains d'Europe n'a pas été sans conséquences pour le rayonnement de l'Espagne et l'histoire du monde. Aujourd'hui, quelques brevets stratégiques suffisent à fixer durablement la localisation et l'essor d'un secteur industriel. C'est pourquoi les enjeux liés à l'attractivité du territoire sont au cœur de la définition des stratégies. Un laboratoire porteur qui s'installe dans une région, c'est un bassin d'emplois et d'activité qui surgit. En matière de R&D industrielle, la France a de nombreux atouts : grandes entreprises qui sont souvent des champions européens, centres de recherche dont le niveau d'équipement est optimal, chercheurs et ingénieurs dont la compétence est partout reconnue au point de s'exporter parfois systématiquement. Nous devons amplifier nos efforts.
Le Gouvernement et le Minéfi agissent pour répondre aux besoins des acteurs, en particulier des PME et des créateurs d'entreprises, par la mise en place de structures d'accompagnement, de dispositifs d'incitation, d'outils de financements simples et adaptés. Innover, soutenir, faciliter, diffuser : telles sont les conditions d'une R&D industrielle dynamique. Elles sont le fil conducteur de cet ouvrage.

LAURENT FABIUS



Ministre de l'Économie,
des Finances et de l'Industrie

Introduction

Cet ouvrage vise à montrer le rôle joué par la R&D industrielle dans le développement des entreprises et de l'économie dans son ensemble. Les entreprises qui y consacrent le pourcentage le plus important de leur chiffre d'affaires sont généralement celles qui obtiennent les meilleurs résultats et la croissance la plus forte. Leurs concurrents plus « prudents » n'obtiennent pas les mêmes succès.

La R&D est essentielle mais exigeante : c'est l'apanage des entreprises dynamiques, qui ont la volonté de se situer au premier rang de leur profession. Par leur exemple, ces champions ont un effet d'entraînement sur l'ensemble de l'économie. Ce sont les moteurs de la compétitivité nationale.

Nous avons voulu illustrer par quelques cas réels et représentatifs – sélectionnés parmi beaucoup d'autres, tout aussi dignes d'intérêt – combien la R&D est importante, et d'abord pour les entreprises elles-mêmes. Au fil des exemples, on constatera la forte influence du contexte économique mondial. La concurrence dépasse en effet depuis longtemps le cadre de nos frontières, nationales et européennes, et la R&D est de plus en plus internationale. Par ailleurs, beaucoup de grandes entreprises se recentrent sur leurs métiers stratégiques et sous-traitent le reste de leurs activités.

Comme le montrent les études de cas présentées dans ce livre, la R&D industrielle n'est pas seulement affaire de budgets et d'investissements. Elle exige aussi de l'énergie, de l'imagination, de la discipline, des compétences, du travail.

Pour toutes ces raisons, toute une palette de mesures de soutien ont été mises en place. Les unes, très classiquement, sont financières. Beaucoup d'autres visent à instaurer un environnement institutionnel et humain favorable à l'éclosion des projets : ainsi, 14 réseaux de recherche et d'innovation technologiques (RRIT), qui permettent de fédérer acteurs privés et publics, ont été mis en place, notamment dans le cadre de la coopération entre le Secrétariat d'État à l'Industrie et le Ministère de la Recherche.

Ceux-ci occupent aujourd'hui une place essentielle et sont à la fois des lieux de rencontre, des observatoires, des tribunes et des laboratoires. Tous visent à renforcer le potentiel des entreprises françaises dans leur

domaine, à développer la synergie entre la recherche publique et l'industrie, à détecter des orientations prioritaires pour la R&D et à diffuser l'innovation, y compris vers les PME et les créateurs d'entreprise.
Enfin j'espère que cet ouvrage provoquera un déclic chez tous ceux qui, pour toutes sortes de raisons, n'ont pas jusqu'ici accordé à la R&D industrielle toute la place qu'elle mérite. Elle est l'une des clés de l'avenir de l'industrie française et des emplois qu'elle génère.

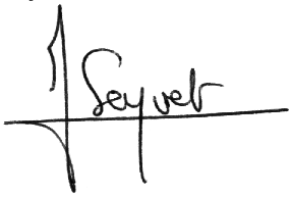
CHRISTIAN PIERRET

Secrétaire d'État à l'Industrie

Remerciements

Les compétences, les savoir-faire et les méthodes de la Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes (DiGITIP) sont issus, pour une bonne part, des contacts quotidiens noués avec les multiples acteurs de la R&D industrielle. Cet ouvrage en témoigne.
Je tiens à remercier tous ceux qui nous ont apporté leur aide lors de la rédaction des cas présentés dans cet ouvrage, notamment : Sana Abou-Haidar, Thierry Breton, Pierre Burelle, Jacques Dumont, Isabelle Flaux, Roland Fraysse, Laurent Gouzènes, Jean-Pierre Noblanc, Elios Pascual, Lionel Picard, Pasquale Pistorio, Hugues Rougier, Anne Sajus. La sélection de ces cas, on s'en doute, n'a pas été simple, et c'est fort heureux : les réussites des entreprises françaises sont nombreuses. Nous avons essayé de constituer un échantillon d'expériences représentatif des grandes problématiques de la R&D industrielle contemporaine.
Je voudrais remercier aussi les collaborateurs de la DiGITIP qui ont contribué à la rédaction de ce livre, ainsi que Michel Le Seac'h, qui a rédigé cet ouvrage, et le service des éditions de la Dircom qui en a assuré la publication.

JEANNE SEYVET



Directrice générale de l'Industrie,
des Technologies de l'Information
et des Postes

Sommaire

1. **La R&D industrielle en perspective** Page 11
La R&D industrielle au cœur de l'innovation Page 11
Les montants du soutien public à la R&D Page 12
Vers des réseaux d'excellence européens Page 15

2. **Un nouveau métier pour une entreprise créative** Page 19
Le cas Oscar Page 19
Technologies clés Page 23
Valoriser les retours d'expérience Page 25
Le facteur humain Page 27

3. **Le retour de l'Europe en microélectronique** Page 29
Le cas STMicroelectronics Page 29
Attractivité du territoire et pôles d'excellence Page 36
Des « feuilles de route » pour orienter la R&D Page 39
Biotechnologies : de hautes technologies aux besoins spécifiques Page 41

4. **Des innovations audacieuses dans la stratégie des entreprises** Page 43
Le cas SALOME Page 43
Pas de R&D sans une vision du marché Page 48
Incontournable normalisation Page 51
Le développement du logiciel Page 53
Les services et l'industrie Page 55
Une question capitale : la propriété intellectuelle Page 58

5. **Entrer dans la société de l'information** Page 61
Le cas ADTT Page 61
Un vaste effort de R&D pour soutenir le développement de la société de l'information Page 66
Coopération : en R&D, l'union fait la force Page 68
La nature des soutiens financiers Page 70

6. **Quand la R&D améliore les services publics** Page 73
Le cas CIVIS Page 73
Les externalités, première raison d'être des soutiens publics Page 79
Du PREDIT aux RRIT Page 81
Entre applications militaires et civiles : le « dual » Page 84

7. **La protection de l'environnement, contrainte et opportunité** Page 87
Le cas CLEF (Clean Foundry) Page 87
Développement industriel durable Page 92
Le regard des experts Page 95
Aider les PME à trouver leur place Page 96

Annexes
Les appels à projets Page 101
Table des sigles Page 113

1 La R&D industrielle en perspective

Le présent ouvrage est essentiellement consacré à six cas réels de recherche et développement (R&D) industrielle, choisis parmi les centaines de dossiers traités par la DiGITIP, ces dernières années. Sans prétendre décrire toute la richesse et l'ampleur du sujet, ces cas permettent d'en aborder des aspects particulièrement importants. Ce premier chapitre présente la R&D industrielle et le rôle de la DiGITIP, pour les mettre en perspective, avant de les illustrer par les exemples dans les chapitres suivants.

Le développement technologique constitue la base de la croissance et de la compétitivité pour de nombreuses entreprises comme pour la collectivité. Les puissances publiques investissent donc fortement dans la recherche pour favoriser le développement des entreprises présentes sur leur territoire, mais aussi pour renforcer l'attractivité de celui-ci vis-à-vis des entreprises étrangères. La France investit chaque année 30 milliards d'euros dans la recherche et développement, soit 2,15 % de son PIB (ce montant est celui de la dépense intérieure publique et privée de recherche et développement – DIRD – telle que calculée par le ministère de la Recherche). Ces dépenses ont augmenté de 40 % depuis 1990.

« ***L'innovation et le progrès technologique sont assurément les principaux moteurs de la croissance économique.*** »
OCDE, Perspective de la science, de la technologie et de l'industrie. ***Les Editions de l'OCDE, Paris 2000***

La R&D industrielle au cœur de l'innovation

La R&D constitue une partie de l'investissement total des entreprises dans l'innovation (la moitié dans le secteur manufacturier, moins dans le secteur des services).
L'innovation est un concept plus large : elle est définie classiquement par « l'ensemble des démarches scientifiques, technologiques, organisa-

tionnelles, financières et commerciales qui aboutissent ou sont censées aboutir à la réalisation de produits ou de procédés technologiquement nouveaux ou améliorés »[1].

La R&D englobe « les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances, ainsi que l'utilisation de cette connaissance pour de nouvelles applications »[2]. L'innovation comprend aussi d'autres activités comme l'outillage, l'ingénierie industrielle, le démarrage de la production, la commercialisation…

Ces distinctions théoriques se traduisent par des modalités de soutien public différentes. L'ANVAR est chargée de promouvoir l'innovation dans les petites et moyennes entreprises (PME), en lien avec le travail de diffusion technologique des Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (DRIRE). Le champ de la R&D proprement dite est, lui, couvert par plusieurs ministères, en particulier le ministère de la Recherche, chargé de la recherche fondamentale, et le secrétariat d'État à l'Industrie, pour le soutien à la compétitivité des entreprises.

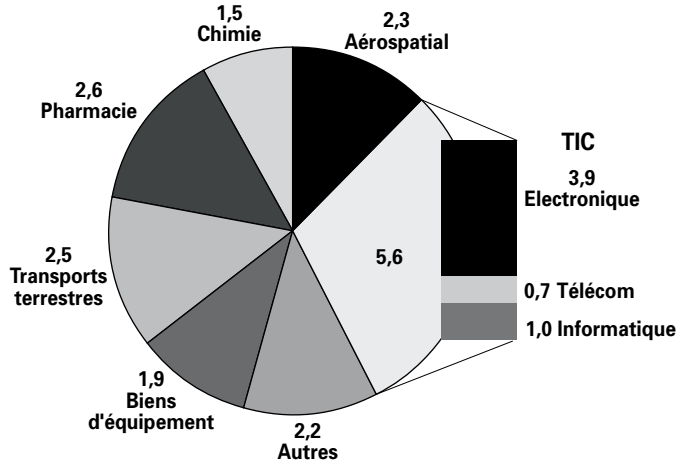
Les montants du soutien public à la R&D

La dépense intérieure de R&D (DIRD), tous acteurs confondus, s'élevait à 29,5 milliards d'euros en 1999 et à 30,15 milliards d'euros en 2000 (estimation du ministère de la Recherche : enquête du Credoc).

La dépense intérieure de R&D des entreprises (DIRDE) a, elle, représenté environ 1,37 % du PIB. Elle est concentrée dans un nombre restreint de secteurs.

(1) Manuel d'Oslo, 1992.
(2) Manuel de Frascati, 1993.

Répartition de la DIRDE par secteur économique
(en milliards d'euros 1999)



Source : MENRT (enquête R&D des entreprises).

Les technologies de l'information et de la communication (électronique, télécom, informatique) représentent 30 % de la DIRDE et ont crû de 13 % entre 1933 et 1999.

Produit intérieur brut et dépenses de recherche

	1981 en milliards d'euros	1990 en milliards d'euros	2000 en milliards d'euros	Taux de croissance annuel moyen 2000/1990 (en %)	Taux de croissance annuel moyen 2000/1981 (en %)
PIB	493,8	1 009,4	1 404,8	3,4	5,7
DIRD	9,5	24,0	30,2	2,3	6,2
DIRDE	5,6	14,5	19,3	2,9	6,7

Source : Ministère de la Recherche.
Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE).

Si la dépense en R&D des entreprises augmente sur la période, c'est avec une croissance du financement privé, notamment de l'autofinancement des entreprises, alors que le montant des aides publiques a baissé au cours des années 1990, notamment à cause de la baisse des crédits militaires.

Évolution des dépenses intérieures de R&D pour l'ensemble des entreprises

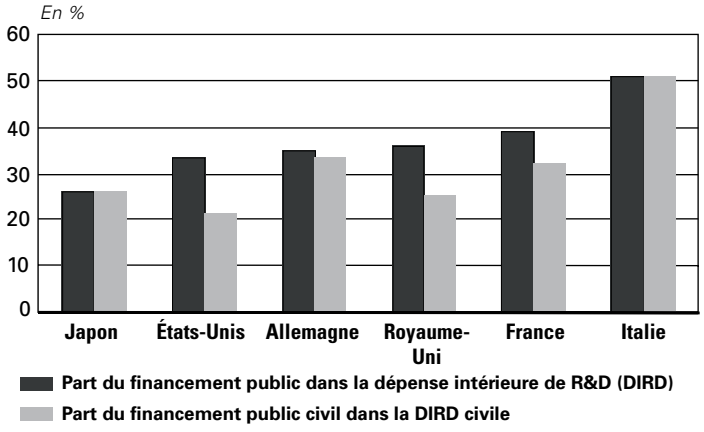
En milliards d'euros	1995	1996	1997	1998	1999
Financement privé	13,8	14,4	14,9	15,4	16,0
Financement public total	2,8	2,8	2,4	2,3	2,7
Total DIRDE	16,7	17,1	17,4	17,6	18,7

Source : Ministère de la Recherche.

Pourtant, pour l'ensemble de la recherche, qu'elle soit réalisée par les entreprises ou par les laboratoires publics (universités, CNRS…), les pouvoirs publics français assurent une part de financement plus importante qu'aux États-Unis : 39,1 % des dépenses de R&D en France contre 33,8 % aux États-Unis. L'écart entre la France et les États-Unis est même amplifié une fois retirée la R&D militaire. Les fonds publics français financent 32,3 % de la R&D civile, contre 21,2 % aux États-Unis (chiffres 1999).

Cependant, en France, ces financements vont plus aux laboratoires publics qu'aux entreprises. Celles-ci, d'une part, bénéficient d'un soutien financier direct et, d'autre part, s'appuient sur les résultats des recherches des laboratoires publics. Cela explique qu'en France, seulement 9 % de la recherche des entreprises est financée par des fonds publics contre 13,1 % aux États-Unis.

Financement de la recherche par l'État en 1998



Source : OCDE

Vers des réseaux d'excellence européens

Au-delà de ces aspects quantitatifs, les modalités de soutien public de la R&D industrielle ont profondément évolué ces dernières années.

Favoriser les coopérations

Aujourd'hui, les soutiens de l'État incitent les entreprises à s'engager dans des projets risqués mais à fort pouvoir diffusant, dont les bénéfices rejailliront sur la collectivité. Outre leur participation au financement des projets, ils exercent surtout un effet de levier sur l'effort de R&D et contribuent à attirer des partenaires vers les projets.

Les partenariats se développent fortement (près de 4 partenaires en moyenne par dossier en 2000, contre 3,15 en 1999), en impliquant de plus en plus de PME (en 2000, 1 projet sur 2 associait au moins une PME contre 1 sur 3 en 1998).

Cette orientation forte vers la coopération est essentielle : c'est une invitation à confier différentes parties des projets de R&D aux spécialistes les plus compétents, ce qui accroît d'autant leurs chances de succès, et permet surtout de créer des réseaux d'excellence alliant entreprises et laboratoires. Par ailleurs, cela favorise la traduction des travaux des laboratoires de recherche en développement de produits offerts au public. Ainsi, ce mode de soutien favorise-t-il le maximum d'externalités. L'essentiel des soutiens passe par des procédures d'appels à projets ou à propositions auxquels les entreprises et les laboratoires sont invités à répondre. Cette formule permet de soutenir certains axes prioritaires tout en laissant une grande marge de liberté aux acteurs de la R&D industrielle et en favorisant la créativité.

Le développement des coopérations accompagne une orientation plus amont des projets soutenus. En effet, les entreprises communiquent sur leurs projets d'autant plus facilement qu'ils sont plus éloignés des marchés. Les soutiens publics sont déterminants pour les projets amont, généralement plus risqués. Cette orientation vers l'amont accroît ainsi l'impact des aides en procurant un effet de levier plus important à la fois pour l'entreprise et pour le secteur.

Secteurs stratégiques

En matière de R&D industrielle, l'objectif est de favoriser les regroupements d'entreprises dans des secteurs considérés comme stratégiques,

c'est-à-dire :
✔ en forte croissance (technologies de l'information, biotechnologies),
✔ créant des emplois, directs mais aussi indirects : sous-traitance,
✔ permettant à d'autres entreprises situées en aval d'être compétitives : la microélectronique est essentielle pour de nombreuses entreprises des technologies de l'information (TIC), des éditeurs de logiciels aux fabricants de téléphones mobiles,
✔ développant des technologies diffusantes, c'est-à-dire dont les applications concernent de nombreux autres secteurs : matériaux, logiciel…
✔ contribuant aux politiques publiques dans des domaines comme l'environnement, la sécurité alimentaire, etc.
La sélection de ces secteurs stratégiques est déterminante pour la réussite d'une politique de soutien à la R&D industrielle. Elle doit s'appuyer sur des compétences scientifiques mais aussi économiques : Quels verrous technologiques doit-on briser pour acquérir une position scientifique forte ? Quels sont les besoins des entreprises existantes et quelles sont les retombées économiques prévisibles ?
Ce type d'analyse est effectué à deux niveaux : global à l'occasion des études dites « Technologies clés », et sectoriel au sein des réseaux de recherche et d'innovation technologiques. La dernière étude *Technologies Clés 2005* publiée par la DiGITIP en octobre 2000 décrit 119 technologies clés pour l'économie française à l'horizon 2005. Elle met particulièrement l'accent sur les technologies de l'information et de la communication, et sur les technologies d'organisation, de gestion et de production. Parallèlement, les réseaux de recherche et d'innovation technologiques (RRIT) rassemblant industriels et scientifiques d'un secteur, définissent leurs propres priorités plus fines à l'intérieur de leur thématique, comme on le verra dans les chapitres suivants.
Ces partenariats entre entreprises et laboratoires permettent de mutualiser les développements de technologies de base et d'imposer des standards internationaux. Les technologies de base sont en fait essentielles pour la poursuite des développements ; mais les projets de R&D reposant sur ces technologies présentent des risques plus élevés et des perspectives de rentabilité plus aléatoires. Pour que ces partenariats soient de taille significative au niveau mondial, la zone pertinente n'est plus nationale, mais européenne.

Montée en puissance de l'Europe

Le sommet de Lisbonne en mars 2000 et la Présidence française ont rappelé le caractère prioritaire de l'innovation dans l'Union européenne.

Les actions européennes ont été menées au sein des « programmes-cadre de recherche et développement » (PCRD). Elles ont acquis une ampleur considérable.

En présentant en février 2001 son nouveau projet de programme-cadre de recherche et de développement pour la période 2002-2006, la Commission insistait sur la volonté d'organiser la recherche en Europe autour de trois axes : intégrer la recherche européenne, structurer l'espace européen de la recherche et renforcer ses fondations. Cette volonté de réforme passe par le lancement de nouveaux instruments de soutien à la recherche et à ses activités connexes en constituant, parallèlement au lancement de grands projets intégrés, des « réseaux d'excellence » réunissant universités, centres de recherche et industriels autour de thèmes communs.

L'idée de coopérations européennes entre entreprises n'est pas nouvelle : Eurêka est un excellent exemple de coordination intergouvernementale. Les projets présentés par les industriels avec le soutien des différents pays bénéficient d'un label Eurêka. Ils sont ensuite cofinancés par les pays concernés. Ce système est une incitation à la coopération européenne dans une logique de subsidiarité. Les actions organisées dans ce cadre ont ainsi donné des succès réels dans des secteurs comme la microélectronique ou le logiciel, où les industriels se sont regroupés dans des « clusters », véritables grappes de projets internationaux : MEDEA, ITEA, EURIMUS, PIDEA…

Les travaux de la DiGITIP et ceux des institutions européennes convergeront donc de plus en plus comme le préconisent MM. Cohen et Lorenzi : « Consciente du rôle moteur de l'innovation dans la compétitivité industrielle, l'Europe a réagi en élaborant un certain nombre de programmes de R&D qui incitaient à la coopération entre entreprises et chercheurs européens. »[3]

Cependant, comme le souligne ce même rapport, les efforts passés sont encore insuffisants. Le chemin à parcourir est encore long avant d'aboutir à « l'Espace européen de l'innovation », priorité lancée par le Commissaire Busquin et soutenue par la Présidence française de l'Union lors de son mandat de juillet 2000. Cette coordination des politiques publiques de soutien à la R&D industrielle, qu'elles soient nationales ou communautaires, contribue à renforcer la compétitivité de l'industrie. Un enjeu capital pour les prochaines années.

(3) Rapport au Conseil d'analyse économique du 11 janvier 2000 : Des politiques industrielles aux politiques de compétitivité en Europe.

2 Un nouveau métier pour une entreprise créative

La R&D industrielle peut se fixer des objectifs très ambitieux : avec le projet Oscar, Plastic Omnium ambitionne de renouveler la façon de concevoir les automobiles et de s'imposer comme un équipementier de premier rang, un partenaire capital des constructeurs automobiles. De tels projets porteurs s'articulent souvent autour des « technologies clés ». Viser haut, c'est évidemment accroître les risques d'échec, mais les retours d'expérience eux-mêmes sont souvent à l'origine de nouveaux progrès : la R&D est une question de management stratégique.

Le cas Oscar

En 1997, Plastic Omnium était depuis quelques années déjà un important producteur de pare-chocs en matières plastiques pour l'automobile. A l'époque, un pare-chocs devait pouvoir subir sans dégâts un heurt de 4 km/h. En 2000, ce serait 8 km/h – le double. Un choc à 15 km/h, qui générait entre 7 000 F et 25 000 F de frais de réparation en 1997 ne devrait pas coûter plus de 3 000 F à 7 000 F en 2000 (soit entre 457 et 1 067 euros environ). Les pare-chocs devraient aussi obéir à une démarche QCPDR (qualité, coût, délai, poids, recyclabilité) de plus en plus exigeante : il faudrait fabriquer des produits meilleurs, moins chers, plus légers, livrés en juste à temps et recyclables en fin de vie du véhicule.
Ces contraintes externes n'étaient d'ailleurs qu'un aiguillon. Née d'une démarche innovante en 1947, Plastic Omnium va de l'avant proprio motu. *Son budget de R&D représente environ 6 % de son chiffre d'affaires, ce qui est très important. Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, son fondateur, Pierre Burelle, avait entrevu les*

fabuleuses possibilités des matières plastiques. Il assurait même qu'un jour on construirait des automobiles avec une très forte utilisation des matières plastiques. A l'époque, cette prophétie l'avait fait passer pour un original !

Plastic Omnium : une tradition d'innovation

Acteur majeur de la transformation des matières plastiques avec un chiffre d'affaires de 1,6 milliard d'euros et 8 000 salariés dans le monde, Plastic Omnium réalise 70 % de son activité hors de France et a aujourd'hui quatre grands domaines d'activité :

✔ *Les services pour les collectivités locales et les entreprises dans les domaines de la précollecte des déchets (il est le numéro un mondial du secteur) et du recyclage.*

✔ *Les équipements automobiles, en particulier pour les pare-chocs, pièces de carrosserie extérieures et systèmes à carburant.*

✔ *Les produits plastiques performants.*

✔ *Les pièces et ensembles hygiéniques pour l'industrie pharmaceutique et médicale.*

Dans tous ces domaines, l'entreprise a une politique de R&D dynamique. Elle est bien connue du grand public pour avoir largement contribué, depuis les années 1970, au remplacement des poubelles d'autrefois, bruyantes et sales, par des bacs de collecte en matière plastique. Puis ces derniers sont devenus des produits de haute technologie susceptibles d'être équipés de systèmes d'insonorisation, d'opercules adaptés aux déchets à recevoir, de panneaux d'information indélébiles apposés par photo-injection, d'étiquettes électroniques permettant la gestion des parcs, de verrous automatiques assurant l'ouverture uniquement par le camion de collecte, etc. Beaucoup de ces dispositifs ont fait l'objet de brevets pris par Plastic Omnium.

L'innovation ne se limite pas aux matériels eux-mêmes : dès 1962, Plastic Omnium proposait aux municipalités un contrat de Services urbains-Système P. Au lieu de leur vendre des bacs de collecte, elle leur vendait un résultat : la garantie d'un parc en bon état. La gamme des services s'est élargie depuis lors : Plastic Omnium aide des milliers de villes dans le monde à gérer leur matériel, à optimiser la collecte sélective, à améliorer les circuits de collecte ou à préparer la facturation aux habitants. Qui plus est, la société suit une démarche rigoureuse de respect des normes. Elle fut le premier fournisseur à proposer une gamme complète de conteneurs conformes aux normes

européennes entrées en vigueur en 1997. La société a aussi obtenu pour ses bacs la nouvelle marque NF entrée en application en juillet 1998.

La genèse d'Oscar

Retour aux pare-chocs en 1997. Optimiser le pare-chocs signifiait améliorer non seulement le bouclier extérieur mais aussi la poutre qui lui sert de renfort interne. Une poutre performante serait à la fois légère, résistante, rigide, peu coûteuse à produire, etc. Elle absorberait bien les chocs, ce qui permettrait de fabriquer des pare-chocs plus minces, donc plus légers, moins coûteux et plus faciles à désassembler et recycler en fin de vie.

Cette poutre, classiquement fabriquée en acier, comme l'ensemble de la structure des automobiles, ne pourrait-on lui substituer une solution « plastique », comme on l'avait fait pour le pare-chocs lui-même ? De cette question naquit l'idée de la poutre HTPC, une poutre haute énergie, en matériau (élaboré par Vetrotex - Groupe Saint-Gobain) à fibres de verre continues tissées surmoulées par un thermoplastique renforcé de fibres (longues ou courtes selon les performances souhaitées).

Le travail de R&D était important. Pour le mener à bien, l'entreprise sollicita un soutien public auprès du secrétariat d'État à l'Industrie. Et eut la surprise de s'entendre dire : « Votre demande n'est pas assez ambitieuse » ! En effet, si l'on fédérait le projet avec d'autres études envisagées, ce n'était pas seulement le pare-chocs dont il était question, c'était la façon même de concevoir tout l'avant d'une automobile, en s'interrogeant sur l'optimisation globale de ses fonctions.

Ainsi naquit le projet « Oscar : bloc avant de véhicule ». Un dossier fut déposé dans le cadre de l'Appel à propositions « Technologies clés » et un soutien attribué sous forme d'avance remboursable pour 30 % du budget prévu.

« Ce projet, c'était le rêve d'une équipe de jeunes ingénieurs », raconte Isabelle Flaux, de Plastic Omnium, responsable des financements extérieurs. Dans les pièces extérieures d'automobile, jusque-là, on avait surtout utilisé le plastique pour remplacer le métal. A propos de chaque pièce – les pare-chocs d'abord, puis les ailes et d'autres éléments de carrosserie – on se demandait : pourrait-on utiliser du plastique au lieu du métal sans dégradation des caractéristiques mécaniques ? voire même en les améliorant ? Mais l'ambition ultime d'Oscar, était d'aboutir à concevoir les automobiles d'emblée comme des ensembles

en matière plastique, en exploitant au maximum les avantages propres à ce matériau – une révolution technologique.

Un projet discret mais complexe

Tous les cas de R&D présentés dans ce livre portent sur des projets impliquant plusieurs entreprises. Une coopération est en général exigée dans les projets soutenus par le secrétariat d'État à l'Industrie. Oscar est l'exception qui confirme la règle ; il a été mené par Plastic Omnium seul. Très vite, cependant, des tiers ont été associés au projet. Ainsi, l'École des Mines de Douai est rapidement intervenue sur certains aspects scientifiques, l'École Supérieure de Plasturgie a aidé aux choix des matériaux. Les constructeurs automobiles, en particulier Renault et Peugeot, ont été approchés dès la fin de la phase exploratoire, car eux seuls maîtrisaient les questions complexes et inéluctables comme la thermique des moteurs, par exemple.

D'emblée, Oscar a été traité comme une fédération de projets, une douzaine en réalité, consacrés par exemple aux matériaux à employer, aux problèmes d'aspect, aux procédés de fabrication ou au collage structural. Les problèmes à résoudre étaient en effet très nombreux : Comment réduire l'épaisseur des boucliers pour gagner du poids sans diminuer la protection ni augmenter les coûts ? Quels matériaux utiliser pour assurer les propriétés de tenue aux chocs et de résistance à l'ensoleillement ? Vaut-il mieux peindre les pièces ou les teinter dans la masse ? Comment apporter un maximum de liberté créative aux stylistes automobiles tout en appliquant une démarche de modularité génératrice d'économies pour les constructeurs ? Comment mouler ensemble plusieurs matériaux souples sur des géométries complexes ? Etc.

Demain, de nouveaux modèles automobiles

Malgré sa grande complexité, ce projet de R&D industrielle ambitieux mené entre 1997 et 2000 est un succès sur presque toute la ligne.

De nouveaux matériaux et de nouvelles peintures ont été testés, de nouveaux procédés mis au point. Chemin faisant, plusieurs brevets directement issus du projet ont été déposés, par exemple sur la fixation des pièces ou l'utilisation de matériaux composites à hautes performances.

Bientôt commenceront à apparaître, sur le marché, des automobiles bénéficiant des technologies développées dans le cadre d'Oscar. Déjà, le sympathique aspect « rétro » de la New Beetle Volkswagen lui était

conféré… par une utilisation novatrice des matières plastiques ! Son ensemble ailes avant/bouclier, la pièce de carrosserie automobile vraisemblablement la plus complexe produite à ce jour, a été conçue en liaison avec le bureau de style de Volkswagen en Allemagne et le centre technique de Plastic Omnium à Oyonnax avant d'être fabriquée dans une nouvelle usine spécialement créée par Plastic Omnium à proximité de l'usine mexicaine de Volkswagen. Cet ensemble ailes avant/bouclier très remarqué lors de la présentation de la voiture, se signale aussi par sa bonne tenue au vieillissement : « tôlerie sans reproche, peinture sans défaut », commentait L'Auto Journal *dans une étude de fiabilité en mai 2001, vingt-huit mois après la sortie de la voiture. Mais la New Beetle appartient encore à l'ère d'avant Oscar. Dans l'après Oscar, de nouvelles innovations dans le style automobile vont devenir possibles : les bureaux de design automobile vont disposer de plus de liberté dans la conception, ils pourront par exemple jouer davantage avec les couleurs au lieu de faire des automobiles de teinte uniforme. Des premiers modèles « post-Oscar » sont en préparation aux États-Unis et en France.*
Le but final de tous ces travaux, bien entendu, c'est d'augmenter la part de marché de Plastic Omnium tout en proposant de meilleures automobiles au consommateur. Et c'est là que le projet de R&D Oscar se révèle le plus positif : il a permis à Plastic Omnium de développer une nouvelle compétence d'architecte de solutions modulaires innovantes et de s'imposer comme tel auprès des constructeurs automobiles.

Technologies clés

La procédure Technologies clés, dans le cadre de laquelle un soutien a été attribué au projet Oscar, a tenu une place particulière parmi les appels à projets du secrétariat d'État à l'Industrie. Elle avait été mise en place parallèlement à la publication d'un ouvrage original, *100 technologies clés pour l'industrie française à l'horizon 2000*, paru en 1995. La vocation de ce rapport était d'identifier les technologies ou domaines technologiques dont la maîtrise était importante pour l'industrie française à terme de 5 à 10 ans. Étaient concernées les technologies existantes et les technologies émergentes susceptibles d'être industrialisées dans un délai de cinq ou dix ans.

Les actions de la DiGITIP s'articulent autour de thèmes technologiques. L'objectif de *100 technologies clés* visait à créer non une nomenclature précise mais un cadre de référence qui aiderait les entreprises à caractériser leurs projets, voire à trouver de nouvelles idées. Le premier appel à projets Technologies clés était d'ailleurs réservé à cinquante technologies sélectionnées par un comité d'experts et d'industriels – l'une de ces technologies concernait les nouveaux matériaux composites, thème essentiel du projet Oscar.

La réalité ne confirme pas toujours les prévisions, du moins à l'horizon envisagé. Quelques technologies retenues parmi les cent, les réseaux de neurones, par exemple, n'ont pas encore pris l'essor envisagé. Quelques autres, « les technologies de l'internet », par exemple, embryonnaires en 1995, ont acquis une importance capitale en 2000. Mais l'expérience a été si riche qu'il est apparu utile de la renouveler : tel est le but de l'ouvrage *Technologies clés 2005*[4].

Pour sa rédaction, il a été fait appel à une centaine d'experts répartis en huit groupes de douze à quinze personnes ; 670 contributeurs ont également participé à un forum internet ouvert pour élargir les débats. Ils se sont demandé quelles étaient les technologies importantes pour la France des prochaines années, quelle était la place du pays à l'égard de ces technologies et comment orienter l'action publique en leur faveur.

Cent dix neuf technologies ont été retenues. Certaines sont très larges, d'autres très pointues. Le consensus s'est facilement établi autour de certaines d'entre elles : tout le monde convient de l'importance de la sécurité alimentaire, par exemple. D'autres cas ont été plus contestés. Comme déjà dans l'ouvrage de 1995, beaucoup de technologies organisationnelles et d'accompagnement ont été retenues. Plus qu'en 1995 cependant, les technologies de l'information et de la communication s'y imposent comme une famille de technologies indispensables ; elles sont aussi présentes en abondance dans les chapitres consacrés aux industries manufacturières, ce qui met en valeur leur caractère diffusant (un laminoir contient beaucoup d'informatique, la conception d'une automobile se fait de plus en plus en virtuel…).

Il n'a pas été lancé, cette fois, d'appel à projets concomitant au livre. En effet, si les concours financiers à l'industrie depuis quelques années sont attribués dans le cadre d'appels à projets spécialisés et des travaux des réseaux de recherche et d'innovation technologiques (RRIT), un appel à projets Performances a été également mis en place. Sa vocation est d'accueillir des dossiers de grande qualité ne relevant pas des appels à pro-

(4) Technologies clés 2005*, Éditions de l'Industrie, Paris 2000.*

jets spécialisés. Beaucoup des dossiers aidés dans le cadre de cette procédure concernent en réalité l'une ou l'autre des 119 technologies clés 2005.

C'est le cas par exemple du projet Simulforge, qui vise à développer un logiciel de simulation de l'ensemble du processus de forgeage de pièces métalliques, en tenant compte de l'évolution du matériau au cours du processus. Tout au contraire d'Oscar, ce projet fait intervenir un grand nombre d'acteurs : quatorze industriels, un éditeur de logiciels, un centre technique, un syndicat professionnel et sept laboratoires. Ce projet fait suite au programme de recherche collective de simulation de la forge ACR2, également soutenu par la DiGITIP. Ce programme vise l'une des 119 technologies clés : la simulation numérique des procédés. Et il suffit d'un coup d'œil sur la présentation de cette technologie pour imaginer que les compétences développées à l'occasion de Simulforge pourraient trouver bien d'autres applications ailleurs. Peut-être faut-il chercher dans cet effet stimulant la raison du succès de *Technologies clés 2005* : au sein du catalogue des Éditions de l'Industrie[5], c'est l'ouvrage qui se vend le mieux en 2001.

Valoriser les retours d'expérience

Oscar était un projet ambitieux et audacieux, dont le succès n'était nullement assuré au départ. Les soutiens publics ne vont pas nécessairement aux projets de R&D les plus risqués (on verra au chapitre 6 qu'ils servent aussi à soutenir des projets à « externalités positives »), et leur attribution est précédée d'une analyse approfondie, qui vise à apprécier les chances de succès technique, économique et financier. De leur côté, les entreprises qui lancent des projets souhaitent bien sûr qu'ils aboutissent. Les soutiens publics ont un effet de levier. Les entreprises et l'État courent le risque ensemble et cherchent à mettre de leur côté un maximum de chances de réussite. Pourtant, certains projets échouent. Les échecs d'ordre technologique ne sont pas les plus fréquents : la R&D industrielle se situant en aval du processus de découverte, on a déjà à ce stade une certaine vision de ce qui devrait être possible. Cependant, certains projets sont lancés malgré une faible visibilité technologique, tant leur enjeu est important. La DiGITIP a ainsi soutenu un projet portant sur une technologie métallurgique propre lancé par un constructeur

(5) Éditions de l'Industrie, 139 rue de Bercy, 75572 Paris CEDEX 12.

automobile, qui n'a pas abouti faute de pouvoir franchir certains verrous technologiques.

La majorité des échecs sont d'ordre économique ou commercial : le produit ou le procédé mis au point coûte trop cher ou ne trouve pas sa place sur le marché. A la fin des années 1990, au terme d'un programme soutenu par les pouvoirs publics, un groupe industriel français a ainsi dû renoncer à mettre en exploitation un procédé de fabrication de tuyaux en continu qui était par ailleurs une remarquable réussite technologique : les progrès réalisés dans le même temps par les procédés concurrents bouleversaient l'équation économique. Il arrive aussi que des projets lancés par des concurrents aboutissent plus tôt. Dans le domaine du logiciel, où les produits s'articulent en « couches » devant interagir entre elles, la difficulté peut également venir de l'incompatibilité avec une couche « amont » qui serait devenue, entre-temps, un nouveau standard de fait.

Admettre l'échec d'un projet n'est pas toujours aisé : des équipes se sont mobilisées autour de lui, des ingénieurs et techniciens lui ont consacré des années de travail, des résultats au moins partiels ont été acquis, mais tout cela aura été en pure perte. C'est une source de frustration intense pour les personnes intéressées (on verra au chapitre 4 comment cette frustration a été à l'origine d'un surcroît de créativité et d'une « sortie par le haut » chez EADS Matra Datavision).

Mais la bonne gestion des échecs peut être aussi extrêmement fructueuse, car des enseignements peuvent souvent en être tirés. Ne serait-ce que pour ne pas les renouveler au stade suivant : si le bureau d'études documente bien ses échecs, la production risquera moins de les réitérer. Pour en revenir à Plastic Omnium, si Oscar a été globalement un succès éclatant, certains de ses volets n'ont pas donné les résultats espérés, par exemple avec certains types de peintures. « Ce projet a contribué à instaurer dans l'entreprise une culture d'analyse des retours d'expérience, explique Isabelle Flaux chez Plastic Omnium. Nous essayons de savoir ce qui n'a pas marché et de développer dans l'entreprise la capitalisation des savoirs. La procédure Technologies clés nous y a aidés : pour établir le dossier de clôture, nous avons dû documenter les succès comme les échecs, et cela a été instructif. »

Le facteur humain

Le cas Oscar illustre une vérité quotidiennement constatée : la R&D est avant tout une affaire de management stratégique et d'hommes – pas seulement d'ingénieurs, mais aussi de leaders animés par une vision. Chez Plastic Omnium, le projet Oscar a été mené par de jeunes ingénieurs, stimulés dans leurs propositions par leur PDG, Pierre Burelle. « Une bonne équipe, c'est un processus constant qui se renouvelle », assure ce dernier, qui a créé l'entreprise voici plus de cinquante ans. L'humain figure en filigrane dans tous les cas présentés par ce livre. Sans leurs équipes de R&D et l'énergie qu'elles ont catalysée, selon toute probabilité, Thomson multimedia n'aurait pas connu un redressement spectaculaire, EADS Matra Datavision serait une SSII ordinaire et la fonderie de Feurs une friche industrielle. On verra dans les prochains chapitres comment ces entreprises ont réussi à développer de nouveaux avantages compétitifs.

Cet aspect humain contribue aussi à la difficulté de la R&D. Faire dialoguer autour d'une même table industriels, chercheurs et universitaires sur des thèmes aussi complexes que l'électronique en temps réel ou les techniques d'analyse génomique n'est pas toujours aisé. Le rôle de la DiGITIP est délicat quand il faut écarter des projets pour en soutenir d'autres ou convaincre une entreprise de renoncer à sa technologie pour rejoindre un projet concurrent. Il faut alors argumenter, questionner, adopter une attitude d'accompagnement. Le caractère international de certains projets ajoute un élément de complexité, et l'expérience de certains chargés de mission dans ce domaine s'avère alors utile.

Pour jouer son rôle de médiateur, la DiGITIP doit avoir une légitimité incontestable auprès des entreprises. La simple distribution d'aides financières ne suffit pas à la lui conférer. La confiance, au contraire, résulte de contacts fréquents, y compris sur le terrain. Ces contacts sur le terrain limitent en outre les risques de dérive technocratique : derrière le dossier que l'on traite, il y a des hommes que l'on connaît. Les priorités ne sont pas définies par des personnes isolées, elles se sont dégagées de façon consensuelle à l'occasion de nombreuses rencontres avec de multiples acteurs.

La R&D exige toujours un certain pari sur les hommes. Par définition, elle ne produira ses (éventuels) résultats que dans l'avenir. L'instruction des dossiers ne peut se contenter d'un examen du passé : elle suppose

une connaissance des personnes impliquées afin d'apprécier leurs compétences et leur motivation. La qualité d'un projet est d'abord celle de ses acteurs.

3 Le retour de l'Europe en microélectronique

L'entreprise franco-italienne STMicroelectronics s'est en grande partie construite autour de sa R&D, avec un soutien déterminé des pouvoirs publics motivé par l'importance stratégique du secteur des composants microélectroniques. L'action publique dans ce domaine vise en particulier à soutenir la constitution de pôles de R&D importants, qui sont un puissant facteur d'attractivité du territoire. Dans ce secteur, les efforts de R&D doivent se poursuivre sans relâche afin de fournir les bons produits au bon moment, en suivant le rythme prévu par une « roadmap ». Chaque secteur présente cependant ses propres contraintes, comme le montre l'exemple d'un autre domaine de pointe, celui des biotechnologies.

Le cas STMicroelectronics

Vers le milieu des années 1980, les espoirs de survie de l'industrie européenne des composants microélectroniques paraissaient quasi nuls : toutes les entreprises perdaient de l'argent. Elles perdaient aussi du terrain, car leurs technologies étaient en retard, de plusieurs années parfois, sur celles des États-Unis et du Japon.
Or derrière les composants électroniques se profile l'ensemble du secteur électronique européen : sans composants de pointe, pas d'informatique, de télécommunications, d'électronique automobile, de multimédia, de carte à puce, etc. Représentant 20 à 60 % du prix final du produit et surtout près de 100 % de la fonctionnalité, les semi-conducteurs sont un maillon stratégique, indispensable pour avoir voix au chapitre dans la concurrence mondiale. Dès lors, lorsque l'Europe propose des nouveaux standards d'applications avec les composants nécessaires à

leur développement, de réelles chances de succès existent. Les exemples abondent : le GSM en télécommunications mobiles, l'ADSL pour l'internet haut débit, MPEG pour le multimédia (le standard MP3 est directement tiré de MPEG), les cartes à puce…
Cependant, rester à la pointe en semi-conducteurs est terriblement difficile : le marché est cyclique malgré une croissance de plus de 15 % par an en moyenne depuis 1960 ; les investissements sont colossaux en production (2 milliards d'euros pour une usine en 2001) comme en R&D (15 % du chiffre d'affaires) ; la « loi de Moore », du nom du fondateur d'Intel, dicte un rythme d'innovation sans comparaison avec d'autres industries, avec un doublement de la puissance des composants et un changement de technologie tous les dix-huit mois. Enfin la concurrence internationale est impitoyable, et tout retard technologique ou financier conduit à décrocher du peloton de tête. Le marché mondial des semi-conducteurs a atteint 250 milliards d'euros en 2000, soit autant que le marché du pétrole, et trois fois plus que celui de l'aéronautique civile. A cause de cette importance stratégique, tous les pays soutiennent fortement leur industrie. Un exemple : pour son usine de dernière génération (wafer de 300 mm de diamètre) à Fishkill dans l'État de New York, IBM reçoit 600 millions de dollars de soutien des pouvoirs publics, soit 24 % de l'investissement prévu.

Quatre entreprises pour sauver l'Europe, dont deux en difficulté

En 1987, devant la situation dramatique de l'Europe face à la concurrence internationale, les industriels et les pouvoirs publics français, néerlandais, allemands et italiens décident de mettre en place une politique européenne volontariste pour soutenir l'ensemble du secteur. Les quatre derniers fondeurs européens (fabricants de semi-conducteurs) de taille significative jouent un rôle central : ce sont le néerlandais Philips, l'allemand Siemens, le français Thomson Semi-conducteurs, et l'italien SGS Microelettronica. Les pouvoirs publics leur apporteront un soutien important (aide à la recherche, investissements dans les laboratoires publics, effort significatif de formation…) à la condition qu'ils entraînent avec eux l'ensemble du secteur électronique. En France et en Italie, les deux fabricants nationaux paraissent alors incapables d'atteindre seuls la taille critique (plus de 5 % de parts de marché), car ils ne détiennent respectivement que 1,7 % et 1,5 % du marché mondial. Ils fusionnent. La nouvelle société SGS-Thomson Microelectronics (aujourd'hui STMicroelectronics) est alors le

quatorzième producteur mondial avec 851 millions de dollars de chiffre d'affaires… et 203 millions de dollars de pertes (contre moins de 155 millions de dollars de dépenses de R&D).
« Une entreprise saine vaut mieux que deux entreprises malades », affirme néanmoins Pasquale Pistorio, directeur général de la nouvelle société. Mais fusion n'est pas synonyme de guérison. Heureusement, STMicroelectronics ne part pas sans atout : SGS Microelettronica et Thomson Semi-conducteurs occupent des positions géographiques assez complémentaires, l'une est bien implantée en Asie, l'autre en Amérique. Il en va de même pour leurs technologies.
En revanche la taille du nouveau groupe au niveau mondial reste faible. En effet, en raison du besoin croissant de financement, l'évolution prévisible du secteur conduira l'industrie à se scinder de plus en plus en deux groupes : le premier constitué d'un petit nombre de grands producteurs fabriquant de larges gammes de produits et représentant chacun au moins 5 % du marché mondial ; le deuxième groupe où se trouvent les constructeurs de « niche », se consacrant à des produits étroitement spécialisés. STMicroelectronics veut clairement faire partie du premier groupe.

Des progrès opiniâtres

Fin mars 2001, le cabinet Gartner Dataquest classait STMicroelectronics au sixième rang mondial des fabricants de semi-conducteurs. En 2000, son chiffre d'affaires représentait 7,8 milliards de dollars. Son taux de croissance annuel moyen a toujours été supérieur à celui de l'ensemble du marché depuis sa création en 1987, atteignant même 55,4 % en 2000 (contre 32,6 % pour l'ensemble du marché).
Avec STMicroelectronics, c'est l'ensemble du tissu français qui se redresse. Les sites industriels de tous les fondeurs présents en France se développent : ceux de STMicroelectronics, bien sûr, mais également ceux des investisseurs étrangers déjà présents en France (Motorola, IBM, Philips). Profitant des compétences françaises qui montent, de nouveaux investisseurs arrivent (Atmel, Dupont Photomask…).
En amont des fondeurs, les fournisseurs français d'équipements et de matériaux pour la microélectronique profitent également de la dynamique : Air Liquide est numéro un mondial en fourniture de gaz ultra purs, Alcatel Vacuum Technology est leader dans les pompes à vide, Schlumberger est bien positionné dans les équipements de test. Les PME ne sont pas en reste. Pour ne citer que deux exemples, Récif est leader pour les robots de manipulation des plaquettes silicium et Sopra

pour certains équipements de métrologie destinés au contrôle qualité. Enfin, il faut mentionner les start-ups françaises en microélectronique : SOITEC domine le marché des plaquettes de silicium sur isolant (une nouvelle technologie en plein décollage au niveau mondial) ; en conception assistée par ordinateur, la France ne compte pas moins de dix nouvelles entreprises.
En aval des semi-conducteurs, les retombées sont également importantes en télécommunications mobiles, en automobile, en électronique grand public, en carte à puce. Sans l'effort important accompli en microélectronique, l'Europe n'aurait pas pu imposer le GSM, l'ADSL ou MPEG comme standard mondial.

La recherche & développement : une clé du succès

De nombreux facteurs ont contribué à ce succès : les choix stratégiques des entreprises, leur organisation industrielle, la formation, la qualité, la logistique… Mais sans le gros travail de R&D accompli, aucun progrès n'aurait été durable. La rapidité d'évolution du secteur est telle que, pour gagner du terrain sur le plan commercial, il faut prendre de l'avance en amont. Il faut se préparer à fabriquer les produits de demain, et concevoir ceux d'après-demain.
Dès le début des années 90, STMicroelectronics a eu pour principe de dépenser plus que la moyenne de sa profession en R&D. Avec un milliard de dollars de dépenses de R&D en 2000, et plus de 800 demandes de brevets déposées, STMicroelectronics est l'un des poids lourds de la R&D industrielle en Europe. L'entreprise travaille avec plus de 100 laboratoires en France et en Italie. La recherche proprement dite se concentre dans deux directions :
✔ *Les technologies de base nécessaires à la production de composants toujours plus petits et plus puissants,*
✔ *Les architectures de circuits dédiés aux applications émergentes, sans oublier le logiciel nécessaire à leur fonctionnement.*
Les travaux de R&D de STMicroelectronics abordent ainsi de multiples domaines comme l'électronique, l'informatique, les matériaux, la chimie, la mécanique, l'optique, le traitement de signal…

Un programme de recherche européen soutenu par les gouvernements nationaux

Chaque génération technologique coûte environ 30 % plus cher que la précédente. Ceux qui ne peuvent pas ou ne veulent pas suivre le rythme savent qu'ils ne rattraperont sans doute jamais leur retard. Or en

1987, Siemens, Philips et SGS-Thomson Microelectronics, ensemble, pesaient moins dans le domaine des composants que Toshiba ou NEC seuls. Optimiser leur R&D était pour eux le seul moyen pour rattraper leur retard : en unissant leurs forces dans le domaine des puces, la France, l'Allemagne et les Pays-Bas auraient plus de chances face aux Américains et aux Japonais.
Industriels et pouvoirs publics décident alors de lancer une grande initiative de recherche à l'échelle européenne : le programme JESSI (1987-1996), suivi par les programmes MEDEA (1997-2000) et MEDEA + (2001-2008). La démarche est tout à fait nouvelle. Pour la première fois les pouvoirs publics délèguent aux industriels une part importante de la gestion du programme : la définition des orientations du programme, l'animation du secteur pour faire émerger des projets structurants, la sélection des projets proposés aux pouvoirs publics pour financement et le suivi du déroulement des travaux. Une organisation spécifique est mise en place, pilotée par un comité où siègent notamment les présidents directeurs généraux des trois entreprises de semi-conducteurs.
Les pouvoirs publics veillent à ce que les objectifs du programme coïncident avec les orientations politiques de chaque pays. Ils conservent la responsabilité du soutien financier des projets, et s'assurent du bon fonctionnement de l'ensemble. En France, une attention toute particulière est apportée aux PME et aux laboratoires publics. Les coopérations entre entreprises concurrentes sur des sujets amont de recherche sont également favorisées.
Les résultats ne se font pas attendre. Six ans après le début de JESSI, l'Europe a rattrapé ses principaux concurrents. En 1996, STMicroelectronics rejoint Philips dans le club des 10 premiers fabricants de semi-conducteurs mondiaux, suivi en 1998 par Siemens. Si les trois grands fondeurs jouent un rôle central dans JESSI puis MEDEA, ils entraînent avec eux tout le tissu européen : cent cinquante cinq acteurs ont participé à MEDEA dont 39 % de PME et 23 % de laboratoires publics. Douze pays prennent part au programme, sachant que les principaux contributeurs sont la France, l'Allemagne, l'Italie et les Pays-Bas.

Le développement des pôles industriels

En parallèle, un effort important a été déployé pour concentrer les moyens en un nombre limité de sites, et atteindre la taille critique. Ainsi, STMicroelectronics a concentré toute sa recherche en

microélectronique avancée (en dessous du micron) autour de Grenoble. STMicroelectronics y bénéficiait de l'appui des deux plus grands laboratoires de recherche français dans le domaine : le CNET (Centre national d'études en télécommunications) et le CEA (Commissariat à l'énergie atomique).
Les efforts aboutissent en 1992 à la construction à Crolles d'une usine pilote pour produire des circuits numériques dédiés à l'informatique, à l'audiovisuel et aux télécommunications. La ligne pilote est complétée par une usine dotée d'une salle blanche de 6 500 m², dont la propreté (classe 1), unique en France toutes industries confondues, permet d'atteindre des dimensions critiques largement en dessous du micron sans pollution. L'investissement total s'élève à 1 500 millions d'euros depuis 1992.
L'effort continue aujourd'hui : STMicroelectronics, en partenariat avec Philips Semi-conducteurs, a récemment décidé d'installer à Crolles une nouvelle usine pilote, pour développer les technologies sur des plaquettes de 300 mm de diamètre (la précédente usine pilote travaillait sur des plaquettes de 200 mm). Cette ligne représentera un investissement supérieur à 1 milliard d'euros.
En microélectronique, recherche et production sont extrêmement liées, encore plus que dans d'autres industries. L'usine pilote permet de conduire sur le même site recherche amont, développement de procédés et production. On optimise ainsi également les temps et les coûts de fonctionnement de la salle blanche et l'utilisation des équipements de production, de contrôle et de mesure. Grenoble est le premier pôle français de compétence en microélectronique, et le plus grand en Europe avec Dresde. Il attire de nombreux fondeurs de tous horizons, comme Philips, Atmel, Infineon (ex Siemens), etc.
L'idée de coupler recherche et production est également développée à une moindre échelle sur les autres sites français de microélectronique. En soutenant les pôles industriels mariant production, recherche et formation, les pouvoirs publics favorisent le développement de pôles de compétences solides en France. Ces pôles constituent un atout dans les périodes de croissance forte, car ils entretiennent un vivier d'ingénieurs et de chercheurs de haut niveau. Pendant les crises, ils contribuent à stabiliser les usines françaises car la R&D est difficilement délocalisable.

La coopération en microélectronique

La R&D est la première clé du succès de STMicroelectronics. Le développement des sites industriels a suivi. Le troisième élément

important du projet européen de microélectronique est la coopération entre industriels et avec des laboratoires.
Deux facteurs expliquent le besoin vital de coopération dans cette industrie plus que dans toute autre : l'importance des besoins financiers pour la R&D et la dynamique d'innovation.
Dans le domaine des technologies de base pour semi-conducteurs, la coopération entre compétiteurs, la « coopétition », permet de mutualiser et d'accélérer les efforts de R&D tout en partageant les risques technologiques. Elle est souvent organisée au sein d'associations professionnelles telles la Semiconductor Industry Association aux États-Unis. En Europe, les programmes JESSI et MEDEA ont joué un rôle important pour construire des coopérations durables entre Européens.
Dans le domaine des applications, la coopération permet d'accélérer l'innovation en assemblant des compétences dispersées dans plusieurs entreprises (analogique, numérique, architecture de dispositifs, logiciels, standards, protocoles, etc.). En resserrant les liens entre les fabricants de semi-conducteurs et les industriels qui commercialiseront les équipements électroniques, les besoins du marché sont mieux anticipés par chacun. Il devient possible de développer en parallèle le semi-conducteur, le logiciel et l'équipement final. Enfin si le consortium est suffisamment important, une solution technique européenne peut s'imposer comme standard mondial.
STMicroelectronics a ainsi développé des liens étroits avec Alcatel, Nokia ou Nortel dans les communications, Thomson multimedia dans l'électronique grand public, Marelli ou Bosch dans l'automobile…
Les programmes coopératifs soutenus dans le cadre de JESSI et MEDEA ont facilité la constitution de consortiums durables. En incitant à une coopération européenne large, les pouvoirs publics ont favorisé des rapprochements et suscité une « équipe » européenne forte face à la concurrence internationale.

Un effort européen continu face à une vive concurrence internationale

Le retour de la microélectronique européenne au premier plan de la scène mondiale est une histoire d'équipe : une équipe constituée des entreprises européennes, des laboratoires publics et des gouvernements, qui œuvrent ensemble pour atteindre le même objectif, le retour de l'Europe en « première division ». En douze ans, les résultats sont clairs. Les programmes JESSI, MEDEA puis MEDEA + ont démontré leur efficacité, et servent d'exemple dans d'autres domaines.

Entre 1993 et 1999, les trois principaux fondeurs ont contribué à créer 60 000 emplois directs et indirects en Europe, ce qui représente en France une croissance annuelle moyenne des effectifs de 6,8 %. Cependant, la victoire n'est pas acquise car les semi-conducteurs sont considérés par l'ensemble des pays développés comme stratégiques et ouvrant la porte à tous les autres secteurs des NTIC (télécommunications, multimédia, informatique, automobile, sécurité et transactions électroniques…). L'Europe est encore fortement déficitaire en semi-conducteurs (produisant 10 % et consommant 20 % de la production mondiale) et en électronique en général par rapport à ses principaux concurrents (États-Unis, Japon, Taïwan, Corée, Singapour, Chine). Avec le retour remarqué des acteurs européens dans le groupe restreint des dix premières entreprises mondiales, les pays concurrents ont encore redoublé d'efforts pour gagner du terrain. C'est pourquoi les pays européens ont décidé, en 2001, de poursuivre leur politique avec le nouveau programme MEDEA +.

Attractivité du territoire et pôles d'excellence

La mondialisation touche de plus en plus d'entreprises qui se développent sur un marché global et cherchent à optimiser les implantations géographiques de leurs sites de production, mais aussi de R&D. Il faut ainsi raisonner, non en terme de nationalité des entreprises, mais en terme d'attractivité du territoire pour ces implantations.

Les activités de R&D des entreprises sont d'ores et déjà très internationalisées. Selon une étude du Commissariat Général du Plan (1999) portant sur les années 1990, un quart des brevets relatifs à des recherches effectuées en France sont déposés par des filiales de sociétés étrangères. Celles-ci réalisent 18 % de la dépense intérieure de R&D des entreprises. En sens inverse, l'activité de R&D des filiales françaises à l'étranger est significative, même si les statistiques disponibles, peu homogènes, ne permettent pas de la connaître parfaitement. Aux États-Unis, elle représentait 1,5 milliard de dollars et occupait 10 000 chercheurs en 1994. Le projet ADTT2 (voir chapitre 5) donne un bon exemple du découplage croissant entre localisation et nationalité des entreprises : 37 % des effectifs engagés dans le projet appartenaient au groupe français Thomson multimedia et 48 % au groupe néerlandais Philips. Les Français représentaient néanmoins 53 % des effectifs engagés en raison de l'impor-

tante présence de Philips en France.
Face au mouvement de mondialisation, assurer l'attractivité industrielle du territoire français est donc un enjeu capital. C'est l'une des missions confiées à la DiGITIP. Par « attractivité du territoire », on entend d'ordinaire tout ce qui peut contribuer à rendre le territoire français attrayant pour les entreprises, françaises ou étrangères : infrastructures, compétence et productivité de la main-d'œuvre, coût du travail, rapports sociaux, fiscalité des entreprises et des cadres dirigeants, etc. La R&D y joue un rôle important.

La R&D attire et pérennise les sites industriels

En effet, la R&D contribue à attirer et à pérenniser les activités industrielles là où elle est installée. « On se demande parfois ce qui définit désormais la nationalité d'une entreprise, faisait observer Francis Mer, PDG d'Usinor et président de l'ANRT. La meilleure réponse pourrait bien être : celle de son principal centre de recherche. Quand un groupe construit des usines à travers le monde, il le fait sur le modèle d'un pilote. Et en cas de difficulté, ce n'est jamais le pilote qu'il fermera. »[(6)]
Ce phénomène a été clairement observé en Europe. Lors de la crise traversée en 1997-1998 par le secteur des composants électroniques, sept usines ont été fermées en Écosse. Elles ne possédaient pas de département de R&D. A la même époque, aucune usine n'a été fermée en France, et celles qui ont été affectées par des plans sociaux (à Nantes et Corbeil) avaient au moins retrouvé leur niveau d'effectif antérieur en 2001. On peut attribuer cette différence au fait que des activités de R&D étaient présentes sur tous les sites français, et non sur les sites écossais : un site sans R&D est un site fragile.
Si la R&D tend à attirer les activités industrielles, la réciproque est également vraie. Dans certains secteurs – comme dans celui des composants électroniques – de nombreuses recherches exigent une présence physique dans les usines, afin d'être proche des machines et de ceux qui maîtrisent les procédés. Les chercheurs doivent pouvoir utiliser des équipements coûteux et rares, présents chez l'industriel. STMicroelectronics illustre bien ce double mouvement de la production vers la R&D et de la R&D vers la production : son usine de Crolles s'est installée à proximité des laboratoires du CEA, mais elle accueille aujourd'hui des chercheurs du CEA, parfaitement intégrés à ses propres équipes, qui ont ainsi accès à ses installations submicroniques de pointe.

(6) Francis Mer, discours prononcé au cours du déjeuner annuel de l'ANRT, 25 avril 2001 (voir www.anrt.asso.fr).

Pôles de compétences, pôles d'attraction

La DiGITIP soutient la création de pôles de technologie et d'innovation concentrant sur un même site des compétences dans le domaine de la formation, de la recherche et de l'industrie. Elle a entrepris d'analyser les compétences déjà disponibles dans les régions françaises afin de mieux recenser les pôles existants ou potentiels.

Outre les compétences, de nombreux facteurs peuvent entrer en jeu dans la création des pôles, y compris l'attrait du cadre de vie et les soutiens publics susceptibles d'être obtenus. Les collectivités locales apportent aussi un appui important au lancement de tels pôles, notamment dans le cadre des contrats de plan. Mais ces efforts ne sont pas à l'abri des effets de mode ou de surenchère. Au début des années 1980, par exemple, la France a multiplié les centres spécialisés en productique et en robotique ; peu d'entre eux ont réussi à s'imposer comme une référence internationale incontournable. Lorsque l'État apporte son soutien financier, il doit faire des choix : il ne serait guère réaliste d'envisager des financements lourds sur plus de deux pôles ayant une vocation nationale ou européenne. En effet, la concentration de certains secteurs est telle qu'il devient difficile de raisonner en termes de seule attractivité du territoire national ; la dimension européenne paraît alors plus appropriée.

Puisque le niveau des investissements nécessaires et les réalités du marché interdisent de multiplier le nombre de pôles atteignant la taille critique, la première priorité est de renforcer les pôles existants par des activités de R&D pour assurer leur pérennité. Ainsi, Grenoble est aujourd'hui le grand centre de la recherche en composants électroniques en France autour de STMicroelectronics, mais également de Philips Semiconducteurs, d'Atmel et tout récemment d'Infineon (ex Siemens). Il existe d'autres pôles, mais ils sont plus spécialisés comme Rousset (carte à puce et mémoires flash, avec là encore STMicroelectronics, Gemplus et Atmel) ou Tours (électronique de puissance).

La formation de tels pôles a été également soutenue par l'État dans d'autres industries. Les activités de recherche en télécommunications sont concentrées essentiellement sur quatre zones géographiques : la région parisienne, le pôle de télécommunications en Bretagne, la technopole de Sophia-Antipolis et le pôle grenoblois. L'aéronautique gravite autour de Toulouse. Le Génopôle d'Evry attire dans son voisinage des entreprises de biotechnologie. Même dans des secteurs plus traditionnels comme le textile, le gouvernement soutient l'émergence de pôles d'excellence spécialisés sur un thème et susceptibles de défendre leur

réputation au niveau mondial.
La politique des réseaux de recherche et d'innovation technologique (voir chapitre 6) contribue elle aussi à renforcer l'attractivité du territoire en favorisant les partenariats avec les PME ou les laboratoires publics, moins mobiles.

Des « feuilles de route » pour orienter la R&D

Lorsque SGS-Thomson a entrepris sa renaissance, au lendemain de sa création en 1987, son premier soin dans le domaine de la R&D a été de déterminer ses priorités en termes de produits et d'établir une « feuille de route » technologique (ou *roadmap*) que la société parcourrait à grande vitesse. Cette démarche a été appliquée non seulement aux produits mais à leur mode de conception.
Le raisonnement qui sous-tend la confection des roadmaps s'inspire de la « loi de Moore », énoncée par Gordon Moore, fondateur d'Intel, qui avait constaté que le nombre des transistors d'un microprocesseur doublait tous les dix-huit mois. On extrapole ainsi pour déterminer la puissance des microprocesseurs à une échéance donnée dans l'avenir, et donc quels moyens devront être mis en œuvre pour les produire. Une roadmap donne une prévision des produits qui seront nécessaires à telle ou telle date, en termes de performances et éventuellement de prix, de dimensions, etc. Partant de là, on peut indiquer quelles connaissances scientifiques et technologiques devront être développées.
Les roadmaps s'avèrent spécialement importantes pour les programmes relevant des nouvelles technologies de l'information et de la communication, comme le programme Eurêka ITEA (évoqué au chapitre 4), qui a publié en mars 2001 une *Technology Roadmap on Information Intensive Systems* (Atlas technique des systèmes à forte composante logicielle). Cette étude de 140 pages « réalisée à partir des connaissances collectives et de l'imagination des acteurs les plus pointus du changement » est librement disponible sur le site web d'ITEA. La notion de roadmap est aussi exploitée dans le cadre du Réseau national des technologies logicielles (RNTL).
Voir dans les roadmaps des prophéties qui se réalisent d'elles-mêmes en guidant les travaux de R&D serait néanmoins excessif. La plupart d'entre elles décrivent non pas un avenir certain mais différents scénarios possibles. Partant d'un objectif vaste, elles procèdent à rebours en décrivant

DES ROBOTS HABILES POUR LES PUCES DE DEMAIN

Pour respecter leur roadmap et suivre le rythme effréné de l'augmentation des performances « prédite » par la loi de Moore, les fabricants de composants microélectroniques doivent s'appuyer sur des fournisseurs d'équipements très spécialisés. L'un des défis technologiques à relever concerne la manipulation des plaquettes de silicium (*wafers*). Ces plaquettes devenant plus grandes (diamètre de 300 mm au lieu de 200 mm précédemment) et la gravure de leurs circuits plus fine (0,25 micron en 1998 ; 0,15 micron en 1999 ; 0,13 micron en 2000), les nombreuses manipulations qu'elles subissent au cours du processus de fabrication n'en sont que plus périlleuses.
Or, la moindre contamination particulaire ou physicochimique risque de provoquer la destruction du circuit intégré. Une PME française, Récif SA, a relevé le défi : c'est l'un des leaders mondiaux des équipements de manipulation des plaquettes de silicium. Elle détient environ 25 % du marché mondial et réalise plus de 80 % de son chiffre d'affaires hors d'Europe. Ses clients sont les principaux fabricants mondiaux de composants.
Tout comme ses clients, Récif consacre une large part de son chiffre d'affaires à la R&D (20 % en 2000). Ses laboratoires et son siège social sont implantés dans la région toulousaine. Des matériels sans équivalent dans le monde y ont été mis au point, notamment un robot capable de lire les codes alphanumériques identifiant les plaquettes de silicium, puis de transférer celles-ci pour des manipulations spécifiques.
Pour développer ces équipements, Récif s'est appuyé sur les acquis de sa participation aux programmes européens JESSI (1992-1996) puis MEDEA (1997-2000).

les sous-problèmes à résoudre et les technologies susceptibles d'y contribuer (ITEA examine par exemple 120 technologies différentes). Elles définissent un niveau de performance à atteindre, à charge pour la R&D de suivre pour cela les pistes technologiques suggérées.
Cependant, rien ne dit que l'évolution soit nécessairement linéaire. L'histoire technologique des dix dernières années a d'ailleurs eu tendance à s'accélérer par rapport au rythme annoncé par la loi de Moore. Mais inversement, des « murs technologiques » sont susceptibles de retarder l'évolution jusqu'au moment où l'on trouvera la possibilité de les franchir avec une nouvelle technologie. Pour franchir le mur du son, en aéronautique, il a fallu imaginer un moyen de propulsion autre que l'hélice traditionnelle et inventer l'avion à réaction. Grâce à ses roadmaps,

l'industrie des composants électroniques sait déjà qu'elle va atteindre vers 2015 plusieurs murs technologiques (les limites des capacités physiques du silicium, notamment). L'avenir de la microélectronique sera déterminé par le franchissement ou non de ces murs à la date prévue.

Biotechnologies : de hautes technologies aux besoins spécifiques

Si les composants électroniques exigent un effort considérable de R&D, comme on le voit avec le cas de STMicroelectronics, le raisonnement qui le sous-tend s'applique aussi à un secteur comme celui des biotechnologies, lui aussi tourné vers des marchés complètement mondialisés. En revanche, les biotechnologies se distinguent sur des points essentiels. D'abord, leurs marchés sont étroitement réglementés, et parfois régulés. Ensuite, elles n'ont pas encore atteint la maturité industrielle ni effectué les énormes investissements correspondants. Enfin, personne ou presque n'y gagne d'argent ; même aux États-Unis, sur 1 800 sociétés, très peu sont bénéficiaires.

Qui plus est, le laps de temps qui sépare le financement initial du lancement commercial d'un produit peut être très long, souvent supérieur à cinq ans. Les dépenses de R&D sont excessivement lourdes, elles excèdent souvent 50 % des ressources. Il faut donc investir beaucoup dès les premières étapes de recherche, avec un degré de risque élevé, tout en sachant que beaucoup d'entre elles échoueront.

De surcroît, le régime de la propriété intellectuelle dans le secteur demeure un sujet délicat, compte tenu des débats qui entourent la bioéthique et la brevetabilité des inventions biotechnologiques.

Le secteur français des biotechnologies compte entre 150 et 400 entreprises, selon la définition qu'on en donne, ainsi que de nombreuses autres organisations : génopôle d'Evry, universités, fédérations professionnelles, consultants, bio-incubateurs, fonds de bio-amorçage privé, fonds de capital-risque de toutes sortes.

La qualité de la recherche académique française en mathématiques et en informatique a favorisé le développement en France de la génomique, qui se consacre au séquençage des gènes et à l'exploitation des bases de données qui en résultent. Dès 1996, une équipe scientifique française a publié une carte physique de référence du génome humain.

En 1999, le gouvernement a affirmé sa volonté de soutenir davantage la

présence de la France dans le secteur des biotechnologies. Ainsi, le ministère de la Recherche, l'ANVAR et la DiGITIP lancent chaque année un appel à projets spécifique. Les projets financés ont porté par exemple sur l'utilisation de la génomique et de la protéomique à la découverte de cibles cancéreuses, antibactériennes et dans les pathologies neuro-dégénératives. Ils rassemblent tous un industriel chef de file, et des partenaires, laboratoires publics et éventuellement start-ups. En 2001, cinq thèmes prioritaires ont été retenus pour l'appel d'offres : bio-informatique, nano-bioingénierie, technologies pour le post-génome, tumeurs, thérapies géniques et cellulaires.

Parallèlement, le réseau de recherche et d'innovation technologique « GenHomme » a été créé par le secrétariat d'État à l'Industrie et le ministère de la Recherche. Destiné à favoriser les transferts technologiques entre recherche publique et privée, il a trait aux recherches en aval du séquençage du génome humain. Il anime des forums afin de favoriser les échanges, et aide au financement de projets proposés en partenariat entre industrie et recherche.

4 Des innovations audacieuses dans la stratégie des entreprises

Le cas SALOME est particulièrement éclairant, dans la mesure où ce projet dans le domaine du logiciel a accompagné un changement radical de modèle économique. La normalisation est aujourd'hui un aspect capital du marché : dans certains domaines, un produit ne peut s'imposer que s'il est conforme à la norme dominante… ou s'il définit lui-même une nouvelle norme. Cela est vrai pour le logiciel comme pour le monde des services (y compris des services associés ou incorporés à des produits). La propriété intellectuelle constitue également un élément déterminant.

Le cas SALOME

Dépenser des millions de francs pour développer un logiciel destiné à être distribué gratuitement, l'idée peut paraître étonnante a priori. Dans le projet SALOME, pourtant, cette idée a été partagée avec enthousiasme par neuf partenaires, éminents représentants de l'industrie (Open CASCADE, le Bureau Véritas, Principia, Cedrat, EDF et le centre commun de recherche d'EADS) et de la recherche publique (CEA, l'Institut National Polytechnique de Grenoble et l'Université Pierre et Marie Curie Paris VI). Qui plus est, elle a été résolument appuyée par le Réseau national des technologies logicielles (RNTL) et par le secrétariat d'État à l'Industrie.

SALOME est la petite fille d'Euclid. Voici une dizaine d'années, Euclid occupait une place de choix sur le marché français des progiciels de CAO. Mais son éditeur, Matra Datavision, se heurtait régulièrement à un syndrome classique des gros progiciels de l'époque : celui du « plat

de spaghettis ». A force de modifications, tout y était emmêlé, et il était impossible de changer quoi que ce soit sans faire bouger l'ensemble de manière imprévisible. Une grande partie des développeurs se consacraient à la maintenance d'un outil dont plus personne ne maîtrisait tout l'historique. Pour préparer une prochaine génération d'Euclid qui échapperait à cette dérive, Matra Datavision décida de développer avec différents partenaires ce qu'on aurait volontiers appelé à l'époque un « atelier de génie logiciel » (AGL), et qu'on qualifie plutôt de « middleware » aujourd'hui.
L'objectif était de pouvoir développer du logiciel de CAO destiné à des applications scientifiques et techniques avec une grande réactivité à l'égard de l'évolution du marché et des attentes des clients. Souvent, ces derniers avaient besoin de calculer des modèles 3D complexes : pour visualiser le comportement d'un satellite, par exemple, il faut faire intervenir des compétences en thermique, en électricité, en radiations, etc. Afin de désenclaver les différents domaines technologiques, Matra Datavision avait imaginé de développer un « fond de panier » sur lequel viendraient s'adapter des modules intercommunicants. L'idée se révéla excellente et allait bientôt être reprise par les grands concurrents de la société.

De l'édition aux services

Après des travaux de développement se chiffrant en centaines d'années x homme, Matra Datavision commença à commercialiser en 1995, sous le nom de CAS.CADE, un middleware sous Unix, formé d'un grand nombre d'outils et de composants réutilisables. Ses acheteurs l'utilisaient pour développer avec une grande productivité des applications de CAO pour eux-mêmes ou pour leurs clients.
Mais l'évolution du secteur du progiciel allait soulever un sérieux problème de taille critique pour Matra Datavision : dans ce métier, disait-on, il est excellent d'être le premier, bon d'être le deuxième, acceptable d'être le troisième. Quant au quatrième, il n'y en a pas. Le secteur subissait un fort mouvement de concentration à l'échelle mondiale, qui condamnait peu ou prou les éditeurs moyens – d'autant plus que l'existence d'éditeurs graphiques simples sous Windows rendait plus difficile le marché des PME. Dans ce contexte, fin 1998, Matra Datavision décida de renoncer au modèle économique d'éditeur pour se consacrer aux services.
Fin de l'aventure ? Non, bien sûr. L'entreprise s'est alors demandé comment elle pourrait néanmoins pérenniser CAS.CADE, et une idée

audacieuse lui est venue : le transformer en logiciel « open source », c'est-à-dire en logiciel libre, sous le nom d'Open CASCADE. Un logiciel open source est un logiciel dont le code source est librement accessible et peut être copié, utilisé, modifié et redistribué. Tout développeur, tout utilisateur peut ainsi contribuer à son amélioration. Open CASCADE serait le premier outil de modélisation 3D offert en open source.

Premiers pas dans le logiciel libre

La démarche open source n'est évidemment pas désintéressée : quand un éditeur décide de distribuer gratuitement un progiciel dont le développement lui a coûté des centaines de millions de francs, c'est parce qu'il espère compenser les ventes de licences par des ventes de services (formation, assistance, conseil, développements spécifiques…). Mais avant d'annoncer la mise à disposition gratuite d'Open CASCADE, en décembre 1999, il fallut encore engager de nouveaux coûts de R&D afin de porter le progiciel sous Linux, de renforcer sa modularité et d'améliorer son ergonomie. En effet, Open CASCADE allait devoir « se débrouiller seul ». Les utilisateurs, qui ne l'auraient pas payé, ne s'en serviraient vraiment que s'ils le maîtrisaient suffisamment vite. C'est ainsi que des travaux portant sur l'architecture d'Open CASCADE, pour le rendre plus modulaire, ont été effectués. La documentation a été complétée, des exemples de programmation ont été écrits pour toutes les fonctions importantes du logiciel. Et surtout, un module d'une grande puissance a été ajouté à la plate-forme : le module Application Framework qui fournit toutes les facilités pour bâtir rapidement une application complète, y compris interface homme-machine, visualisation et sauvegarde des données. Ce module ne se trouve actuellement chez aucun des concurrents d'Open CASCADE.

Il fallut aussi engager un travail commercial d'explication envers les clients qui avaient acheté CAS.CADE et mettre en place les moyens de faire vivre Open CASCADE. Deux sites web furent ainsi créés. L'un, relativement classique, est destiné à faire connaître l'offre : on peut notamment y télécharger le progiciel. L'autre, beaucoup plus spécifique, est destiné à animer la communauté des utilisateurs d'Open CASCADE. Enfin, il fallut rédiger une licence conforme au droit français.

Cette révolution très organisée a été un succès : très vite, il apparut que les clients reprenaient confiance dans la pérennité du produit. Le chiffre d'affaires 2000 réalisé uniquement avec les ventes de services a légèrement dépassé celui de 1999, qui incluait des ventes de licences.

Au bout de la première année, douze mille internautes de soixante-quatre pays avaient téléchargé le code source du progiciel. L'utilisation avancée d'Open CASCADE faisait l'objet de cours au Pôle universitaire Léonard de Vinci en France et à l'University of California de Berkeley aux États-Unis.

Le chaînon manquant entre CAO et simulation numérique

Conséquence de ce succès : au bout d'une année, l'activité Open CASCADE était filialisée sous son propre nom. Peu auparavant, ses responsables s'étaient engagés dans une nouvelle étape de développement technologique, elle aussi bâtie sur le modèle du logiciel libre : le projet SALOME.

SALOME signifie ici « Simulation numérique par Architecture Logicielle en Open source et à Méthodologie d'Évolution ». Le projet partait d'un constat : la complexité des produits technologiques modernes et la fiabilité exigée d'eux imposent des simulations de plus en plus fines de leur comportement pendant la phase de développement. Certains logiciels de CAO proposent des modules de simulation, mais ils ne sont généralement pas suffisants et ne couvrent pas tous les domaines. La plupart des industriels utilisent donc des logiciels de calcul, ou solveurs, spécialisés, développés pour eux ou achetés sur le marché. Mais la liaison entre la CAO et ces outils de simulation est rien moins qu'aisée. Les informations introduites dans les solveurs doivent être présentées de façon très normalisée. Résultat : la « mise en données » doit souvent être effectuée à la main. Cette phase manuelle, qui sert à faire le lien entre des outils informatiques d'une puissance colossale, peut dans certains cas représenter jusqu'à 50 % des temps d'étude.

L'idée poursuivie dans le projet SALOME était donc de construire une plate-forme générique de liaison CAO-calcul pour la simulation numérique. Développée à base de logiciel libre, cette plate-forme comporterait plusieurs composants modulaires et configurables, adaptables à toutes sortes de domaines technologiques.

Une plate-forme pour une R&D associative

L'aspect générique de la plate-forme SALOME est capital : il devait permettre de réduire les temps de formation à l'utilisation des outils mis en œuvre. Pour les utilisateurs, la possibilité d'étudier des phénomènes couplés plus aisément contribuerait à réduire les coûts et la durée des études, et à augmenter la qualité des simulations, en favorisant l'interopérabilité entre les codes de simulation.

Les outils devraient pouvoir accepter des informations propres à de nombreux domaines technologiques comme la mécanique, l'hydraulique, l'électromagnétisme, etc. Ces domaines sont si nombreux et si spécifiques que le travail de R&D nécessaire au développement de tels outils pouvait paraître hors de portée de n'importe quel éditeur (et c'est peut-être précisément pour cela que le créneau visé par SALOME n'était pas encore occupé, alors que le besoin était manifeste). Pour un logiciel libre, le marché se présentait différemment : les développements spécifiques seraient fournis par la communauté des utilisateurs.

La licence de SALOME, conforme aux pratiques internationales dans le domaine du logiciel libre, est en effet fondée sur trois principes :

✔ *L'accès aux sources des composants de SALOME est libre,*

✔ *Toute correction d'anomalie réalisée dans SALOME doit obligatoirement être publiée en open source,*

✔ *Tout utilisateur de SALOME est libre du choix de la licence d'exploitation relative aux composants complémentaires qu'il a développés.*

La liberté laissée aux utilisateurs s'explique par le fait que leurs développements ne sont pas tous de même nature. S'ils sont réalisés par des éditeurs qui comptent les vendre, il n'est évidemment pas question de les diffuser librement. En revanche, pour la majorité des utilisateurs, les développements correspondent à des besoins non liés à leur cœur de métier, ils portent simplement sur des outils nécessaires dans le cadre d'un travail de R&D relevant de leur secteur d'industrie, que ce soit le pétrole, l'aéronautique, le génie électrique, etc. Quand d'autres utilisateurs éprouvent les mêmes besoins, il est efficient pour tous de mutualiser les ressources.

C'est d'ailleurs ce qui a motivé la participation au projet SALOME de grands partenaires. Ceux-ci ont tous une très grande maîtrise des compétences à mettre en œuvre. Ils sont aussi très complémentaires entre eux puisqu'ils comprennent trois types d'acteurs : des développeurs informatiques, des industriels utilisateurs directs, demandeurs de solutions liaison CAO-calcul et des utilisateurs indirects, qui mettent en œuvre des chaînes de simulation numérique pour valider des calculs réels. « Nous n'avons eu aucun mal à obtenir l'engagement de nos partenaires, raconte Sana Abou-Haidar, responsable du marketing d'Open CASCADE. Ils étaient tous très demandeurs. L'un d'eux, arrivé alors que le dossier était achevé, a même beaucoup insisté pour participer à un projet qui coïncidait exactement avec sa stratégie de recherche. »

La liberté appelle la rigueur

Très classiquement, le projet a été découpé en trois sous-projets, visant respectivement à définir une architecture logicielle et des technologies pour la mettre en œuvre, à développer les différents composants et à valider les développements.

Pour développer SALOME, on utilise tout naturellement Open CASCADE. Pas seulement parce que la société éponyme est maître d'œuvre du projet et que l'existence de SALOME renforcera la diffusion et l'intérêt de l'offre Open CASCADE, mais surtout parce que cette offre constitue une base parfaitement adaptée au développement de SALOME. D'abord, Open CASCADE est la plate-forme idéale pour développer SALOME avec notamment le module Application Framework. De plus, la base Open CASCADE rend SALOME éminemment portable sur des plates-formes matérielles différentes. Sa philosophie open source répond parfaitement à celle du projet SALOME et il y a un avantage considérable, pour celui-ci, à capitaliser l'expérience acquise dans la constitution d'une communauté d'utilisateurs déjà très dynamique. La même convergence se retrouve dans les choix concernant l'architecture logicielle, Open CASCADE et SALOME présentant tous deux un haut degré de modularité et de réutilisabilité.

Il faut souligner que le choix du modèle open source n'implique pas une moindre rigueur dans le travail de développement. Au contraire, il tend à rendre plus délicate la définition de l'architecture, qui doit favoriser la mutualisation de la maintenance et de l'évolution fonctionnelle du produit.

En contrepartie, on obtient un « effet de communauté », qui apporte à l'utilisateur à la fois un enrichissement continuel du logiciel et de bonnes garanties de pérennité et de qualité. Le produit devient plus attractif, ce qui contribue à renforcer et à élargir la communauté des utilisateurs.

Pas de R&D sans une vision du marché

La ligne de partage essentielle entre la recherche fondamentale et la R&D industrielle, c'est le marché : les projets ont vocation à aboutir à des produits ou services offerts à des clients. Les places respectives du marché et de la R&D peuvent néanmoins varier : certains concepts de

R&D sont « tirés par le marché », d'autres sont « poussés par la technologie ». Dans le premier cas, on cherchera à trouver la technologie correspondant à une demande du marché, dans le second, on cherchera le marché correspondant à une technologie disponible.
SALOME constitue une approche originale pour combiner ces deux démarches.
Dans l'examen des projets qui lui sont soumis, la DiGITIP tient compte du marché existant ou potentiel des produits ou services à développer. La politique commerciale des entreprises ne dépend que d'elles-mêmes et n'est pas un critère d'appréciation des dossiers ; il est possible en revanche d'examiner sa cohérence avec la stratégie générale de l'entreprise. Il n'est pas nécessaire que le marché visé existe déjà, mais il faut qu'il soit crédible, en fonction des apports de l'innovation. Le caractère pluridisciplinaire de la DiGITIP permet d'appréhender plus largement le marché. En voici un exemple.
Le programme Architecture électronique embarquée réunit des laboratoires et des équipementiers automobiles français. Il catalyse les énergies de plusieurs acteurs, afin de renforcer la présence des industriels français dans l'électronique automobile. Il s'articule autour de concepts très ambitieux. En effet, l'électronique automobile est bien plus exigeante que la micro-informatique : à 130 km/h, les « plantages » ne sont pas tolérables et les réactions doivent être immédiates quel que soit le taux d'occupation des systèmes. Dans un tel domaine, on pourrait concevoir que la technologie est absolument dominante. Or ce n'est pas le cas : pour que toute la chaîne de valeur se mette en place, des fournisseurs de composants et de logiciels aux équipementiers, il faut pouvoir tabler sur un marché suffisamment large. Pour cela, il faut inciter l'ensemble des acteurs à travailler ensemble le plus en amont possible. La DiGITIP a joué un rôle fédérateur dans le montage du programme visant à développer l'informatique dans l'automobile.
Parfois, la certitude de l'existence d'un marché peut justifier une action volontariste. A condition de rester ouvert aux opportunités qui naissent de son évolution. Cela exige une grande souplesse aussi bien du côté des industriels que des administrations concernées. On verra au chapitre 6 comment la perspective du remplacement de parcs de trolleybus a incité Irisbus à entreprendre son projet Civis. Celui-ci a d'abord été développé autour du trolleybus VEG, et c'est à partir de l'étude du marché du trolleybus que la société a vu se dessiner un marché pour des systèmes de transport d'un type nouveau, alliant les avantages de l'autobus et ceux du tramway.

Les marchés les plus certains ne sont pas les moins exigeants. Dans le domaine ferroviaire, les marchés de renouvellement peuvent se chiffrer en milliards d'euros (une seule rame de TGV coûte au moins 15 millions d'euros). Les exploitants donnent souvent la préférence aux matériels les plus récents : l'expérience n'est donc un avantage que si elle est exploitée pour progresser dans des domaines comme les performances ou la pollution. Les partenaires du projet TGV nouvelle génération doivent anticiper les besoins des exploitants dans un avenir lointain, et s'adapter à leurs évolutions.

Conditions de commercialisation

Un changement de marché peut être synonyme de changement de métier et suppose donc une attention particulière. Cet aspect a été spécialement important dans les réflexions menées par Plastic Omnium et la DiGITIP autour du projet Oscar (décrit au chapitre 2) : celui-ci allait de pair avec l'entrée de la société dans le métier d'équipementier automobile à part entière. Dans un tel cas, les enjeux de la R&D dépassent très largement la mise au point d'un produit : il est alors nécessaire de s'interroger sur la stratégie entière de l'entreprise. Confronté à une problématique analogue à l'occasion du développement de son radar de régulation d'allure automobile, Thomson-CSF, aujourd'hui devenu Thales a opté pour une solution différente : pour faciliter son acceptation en tant qu'équipementier chez les constructeurs automobiles, il s'est allié avec l'américain TRW au sein d'une société commune et a fait évoluer sa communication afin de préparer longtemps à l'avance son arrivée sur le marché.

Réciproquement, les conditions de marché peuvent pousser à réorienter les projets de R&D et stimuler des développements plus ambitieux. Ainsi Thales, pour se ménager un avantage concurrentiel sur le marché des radars de régulation d'allure, a décidé de proposer un radar plus petit. A cette fin, la société a remplacé les composants discrets utilisés jusqu'alors dans ces radars par des composants millimétriques intégrés (MMIC).

La réglementation est aussi un aspect essentiel du marché. Là encore, grâce à la diversité de ses contacts, la DiGITIP peut orienter les industriels vers des projets de R&D particulièrement prometteurs, ou au contraire les inciter à renoncer à des projets trop aléatoires. Il lui est ainsi arrivé d'encourager des projets de R&D visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre grâce à l'utilisation judicieuse de batteries comme moyen de stockage d'énergie.

Enfin, et cela nous ramène au cas SALOME, on relèvera qu'une technologie comme le logiciel se prête à la multiplication des modes de commercialisation. Certains sont classiques, comme la vente de licences logicielles présentées sous la forme de CD-ROM, c'est-à-dire de produits matériels (*packaged software*) ou encore l'intégration du logiciel dans des systèmes tels que les automobiles ou les téléphones portables (*embedded software*). D'autres sont beaucoup plus innovants et se traduisent par des modèles économiques originaux. C'est le cas, par exemple, des contrats d'utilisation en ligne (*application service providers*) ou du modèle retenu dans le cas de SALOME (diffusion gratuite, avec support technique et libre accès au code source, dans le but de constituer une communauté d'utilisateurs clients potentiels de services associés).

Incontournable normalisation

Il fut un temps où normes et réglementations délimitaient des « prés-carrés » nationaux. Plus récemment des choix divergents ont encore été faits entre grands ensembles régionaux (Europe *versus* Amérique du Nord), par exemple en téléphonie mobile. La mondialisation de l'économie exclut désormais cette démarche : tout doit être fait pour éviter des incompatibilités comme celles des gabarits de chemins de fer ou des systèmes de télévision NTSC, PAL et SECAM. Pour rentabiliser leurs coûts de développement, les entreprises aspirent à des normes communes, même si les philosophies de la normalisation sont différentes des deux côtés de l'Atlantique, les Européens s'attachant à obtenir une norme consensuelle unique alors que les Américains s'accommodent de normes concurrentes.

Pour qu'une norme ait des chances de s'imposer, elle doit être à la fois techniquement acceptable et venir au bon moment. Les enjeux sont parfois considérables, comme dans le cas du radar de régulation d'allure pour les automobiles développé par Thales, qui a déjà été évoqué plus haut. La mise en place d'un tel système sur un véhicule automobile pose les questions suivantes :

- Selon la réglementation européenne actuelle, un véhicule ne peut freiner que sous la sollicitation du conducteur ; il est nécessaire d'engager dès à présent des travaux d'adaptation de la réglementation à ce nouveau produit.

- Les différents radars développés appartiennent à des technologies différentes susceptibles d'entraîner des interférences dangereuses ; à cette fin les constructeurs ont engagé une démarche de normalisation garantissant la compatibilité.
- L'image du radar doit avoir une forme suffisamment standardisée pour être utilisable par le système contrôlant l'allure du véhicule.
- Les données provenant du radar doivent être traitées, transmises, exploitées par les véhicules, qui collectent des quantités d'informations toujours croissantes (l'électronique représente déjà près de 25 % de la valeur d'un véhicule automobile standard).

Il faut assurer un traitement homogène des informations. Des travaux aussi complexes supposent l'intervention de plusieurs partenaires, amorce d'un consensus professionnel nécessaire à l'adoption d'une norme. Ils ne concernent pas seulement les équipementiers mais aussi les constructeurs automobiles responsables vis-à-vis de leurs clients de tous les équipements intégrés dans le véhicule. A la demande de la DiGITIP, le GIE Renault-PSA a donc été invité à participer aux travaux sur le radar pour automobiles à un niveau multinational dans une perspective européenne puis mondiale.

Le programme Architecture électronique embarquée évoqué plus haut, dont l'échange de données constitue l'un des thèmes centraux, offre un autre exemple de cette problématique : le groupe de travail constitué à l'initiative de la DiGITIP à la fin des travaux menés au niveau français a estimé nécessaire de passer à l'échelle européenne, afin de définir un standard de fait commun et d'avoir ainsi accès à un marché de taille critique. Cette recommandation a conduit au lancement, dans le cas du programme ITEA, du vaste projet EAST-EEA, réunissant les principaux industriels européens concernés (constructeurs et équipementiers automobiles, éditeurs de logiciels).

Dans le cas spécifique des technologies de l'information, les standards industriels s'imposent souvent de *facto*, et tel peut être le principal enjeu de stratégies fondées sur le logiciel libre, comme dans le cas SALOME : conquérir le terrain suffisamment vite, afin d'imposer une technologie qui deviendra une référence indispensable pour une grande partie des utilisateurs. Si un projet de standard industriel est supplanté par un projet concurrent, les travaux effectués pour le mettre au point l'ont été en pure perte.

La normalisation *stricto sensu* vise au contraire à éviter l'élaboration de standards concurrents à un échelon donné, national, européen ou international. Son enjeu est d'élaborer des références et un langage com-

muns entre les divers acteurs économiques ; par là elle favorise l'interopérabilité et l'interchangeabilité. Elle est aussi un vecteur de diffusion de la technologie. Sa difficulté est l'élaboration d'un consensus. D'où parfois une tentative d'utilisation stratégique cachée de la normalisation : telle entreprise dont la R&D ne progresse pas assez vite peut tenter de bloquer un concurrent par le lobbying. De jouer les bureaux de l'administration contre les bureaux d'études.

Ces rapports de force existent et sont pris en compte lors de l'étude des dossiers de R&D. La DiGITIP doit parfois renoncer à soutenir des projets incompatibles avec une norme ou une réglementation qu'on ne peut raisonnablement espérer changer. La décision est plus délicate encore quand le projet est en désaccord avec une norme future ou quand deux projets concurrents sont chacun susceptibles de donner naissance à une norme. Il faut alors choisir : deux équipementiers français s'intéressaient au radar automobile. Seul a été aidé celui qui avait le plus de chances de s'imposer, car il avait la faveur des constructeurs automobiles.

La question de la normalisation est donc indissociable de celle de la R&D industrielle. La DiGITIP a publié fin 1999 un ouvrage d'orientation sur ce sujet, *100 normes clés pour la France de l'an 2000*.

Le développement du logiciel

Les systèmes logiciels sont constitués de l'empilement de différentes « couches » (en amont, le système d'exploitation, en aval, l'application et, entre les deux, le « middleware »). Cela se traduit par une problématique complexe pour la R&D dans ce domaine, notamment en termes d'interactivité entre ces couches et d'émergence de standards. Le cas SALOME en est une bonne illustration.

L'ouverture et l'imagination tiennent un rôle majeur dans la R&D du secteur. Les efforts les plus prometteurs ne débouchent pas toujours sur des applications aussi larges que prévu ; on l'a vu, par exemple, dans l'intelligence artificielle ou la traduction automatique. Inversement, une application apparemment limitée débouche parfois sur des développements insoupçonnés : le *world wide web* est né parce qu'un chercheur en physique des particules souhaitait communiquer plus facilement avec ses collègues à travers le monde.

Le langage à preuve formelle est un bon exemple des progrès réalisés par la R&D en informatique. Il a été développé principalement en Fran-

ce, avec pour objectif initial de démontrer des théorèmes mathématiques. Puis l'INRIA (institut public voué à la R&D en logiciel et dont la DiGITIP assure la tutelle, conjointement avec le ministère de la Recherche), a constaté son potentiel pour la validation des logiciels ; c'est ainsi, par exemple, qu'a pu être repéré le « bogue » logiciel qui a causé la perte de la première fusée Ariane 5. Le langage à preuve formelle a aussi servi à développer les 300 000 lignes de code de la ligne 14 du métro parisien, qui n'ont révélé aucun bogue en trois ans de fonctionnement. Ce langage est en cours de transposition au secteur automobile, en prenant en compte les contraintes qui lui sont propres.
Le Réseau national des technologies logicielles (RNTL) cherche à rendre plus systématique ce mode de diffusion des nouveautés et à faciliter l'utilisation industrielle et commerciale de travaux issus des laboratoires publics.
Outre leur effet dynamisant pour l'ensemble de l'économie, ces travaux sont directement créateurs d'emplois. Depuis 1984, une cinquantaine d'entreprises ont ainsi été créées pour exploiter des travaux de l'INRIA ; elles employaient plus de 1 100 personnes en 2001. Pour renforcer cette dynamique, l'INRIA s'est doté d'une filiale spécialisée dans la création d'entreprise (INRIA-Transfert) et participe avec d'autres investisseurs à des fonds d'amorçage (comme I-Source), grâce aux capitaux levés lors de l'introduction en Bourse de l'une de ces entreprises, ILOG.
Plus largement, le logiciel présente à un très haut degré les différentes caractéristiques d'un secteur stratégique :
- C'est le plus dynamique des marchés de l'informatique et son poids relatif dans l'économie ne cesse d'augmenter.
- C'est une composante essentielle d'évolutions majeures, telles que le développement de l'internet et des services associés ou que la convergence entre les télécommunications, l'électronique grand public et l'informatique.
- De plus en plus de fonctions, jusqu'ici traitées par le matériel, sont progressivement transférées au niveau du logiciel, lequel permet en outre l'apparition de fonctions nouvelles et l'amélioration des performances.
- C'est ainsi que le logiciel représente une part prédominante de la valeur ajoutée intégrée - et de l'innovation technologique incorporée - dans un nombre sans cesse accru de produits et de systèmes, allant des téléphones portables à l'automobile.
- Des logiciels très complexes sont au cœur de systèmes critiques dans des domaines tels que la finance, les transports, la défense ou les télécommunications.

- Le développement du logiciel contribue fortement à la compétitivité des entreprises des autres secteurs, non seulement parce qu'il permet des gains de productivité, mais aussi parce qu'il se traduit par d'importants avantages concurrentiels en termes de nouvelles applications et de nouveaux services.
En outre, un vaste gisement d'innovation existe dans tout ce qui concerne le processus de production de logiciel. En effet, les méthodes et les outils utilisés pour réaliser les logiciels sont souvent insuffisamment puissants et ne permettent pas toujours d'atteindre ni le niveau de fiabilité voulu, ni la productivité souhaitée. Selon de nombreux experts, une véritable révolution industrielle s'impose dans ce domaine par rapport aux secteurs industriels « classiques ». Les besoins en R&D sont donc particulièrement importants en la matière, notamment autour de thèmes tels que l'ingénierie du logiciel, le développement à base de composants logiciels ou le « middleware » de l'informatique distribuée.
Le logiciel tient donc aujourd'hui une place importante dans les préoccupations de la DiGITIP. Une part croissante des aides à la R&D dans le domaine des technologies de l'information et de la communication lui est destinée. Cet équilibre entre matériel et logiciel devrait perdurer. En particulier, deux programmes spécifiques au logiciel ont été récemment mis en place :
- L'un à vocation européenne : le programme Eurêka ITEA, ciblé sur le « middleware » et sur les systèmes à fort contenu logiciel, qui a été lancé en 1999, largement sous l'impulsion de la France.
- L'autre à vocation nationale : le RNTL (voir chapitre 6).

Les services et l'industrie

Le cas SALOME montre comment un industriel, éditeur de logiciels, a été amené à valoriser l'un des produits qu'il avait développé non pas en le commercialisant en tant que tel mais exclusivement à travers les services qui peuvent lui être associés. Les services représentent aujourd'hui les deux tiers environ de l'emploi et du PIB dans les principaux pays industrialisés. Tout ce qui les concerne, y compris la R&D, fait donc l'objet d'un intérêt croissant. Le « rapport Majoie » de 1999 a consacré un chapitre entier au thème de l'innovation dans les services. L'ANRT a organisé dès janvier 1999 un colloque sur ce thème exploré également par une enquête du SESSI ; ses résultats ont été publiés dans le numéro 105

du *4 pages des statistiques industrielles* (le n° 95 s'était déjà penché sur l'innovation technologique dans les établissements de crédit et les sociétés d'assurances).
Les données de l'OCDE montrent que les services représentent une part croissante du total des activités de R&D des entreprises. Dès 1992, aux États-Unis, ils absorbaient près de 25 % de la R&D totale des entreprises, contre un peu plus de 4 % dix ans plus tôt.
Outre l'amélioration des méthodes statistiques, deux facteurs principaux expliqueraient cette évolution :
- la croissance des activités de R&D, en particulier pour les services complexes,
- l'externalisation croissante des activités de R&D dans le secteur privé comme dans le secteur public.
La DiGITIP, hier focalisée sur l'industrie, soutient de plus en plus les activités de R&D dans les services, en particulier dans les services aux entreprises.

Du service dans le produit
Cependant, le champ spécifique des services est difficile à délimiter. Il comprend aussi bien des activités de haute technologie, comme les services informatiques, les services de télécommunications et les services aux entreprises, que des activités de technologie courante comme la plupart des services à la personne. L'absence fréquente de département formellement voué à la R&D dans les entreprises de services ne facilite pas l'observation. La R&D de ces entreprises est souvent diffuse. Les dépôts de brevets sont bien moins fréquents que dans l'industrie, et les produits se confondent fréquemment avec les procédés.
Dans le secteur industriel lui-même, il n'est pas toujours simple de distinguer les produits des services associés. Les producteurs de composants électroniques mènent des travaux considérables sur l'optimisation de l'utilisation des puces qu'ils fournissent à leurs clients. Chez STMicroelectronics, l'activité de « systèmes sur puce », en plein essor, consiste à intégrer davantage de fonctions à des composants souvent conçus sur mesure à la demande des clients. Dans le même secteur, Atmel et le LETI ont mené à partir de 1999 un projet labellisé MEDEA visant à développer des librairies de CAO destinées à faciliter la conception de certains composants électroniques spécialisés.
Encore s'agit-il là évidemment de haute technologie. Mais même dans des industries à première vue plus classiques, les produits intègrent une proportion croissante de services. On conçoit aisément que la concep-

tion d'un bloc avant d'automobile, objet du programme Oscar chez Plastic Omnium, comprend une part importante de services, du design jusqu'à la logistique, au profit des constructeurs automobiles. On imagine moins bien qu'il en aille de même en ce qui concerne les bacs pour la collecte des ordures ménagères, dont Plastic Omnium est leader mondial : depuis 1977 pourtant, la société propose aux collectivités locales une série de services de gestion de leur parc. Ses bacs eux-mêmes sont désormais intelligents : ils sont capables par exemple de quantifier précisément le volume de déchets collectés pour chaque foyer.

La ruée vers les services est sans doute loin d'être arrivée à son terme chez les industriels. Parfois, elle correspond simplement au renforcement d'activités déjà exercées antérieurement, par exemple lorsqu'un constructeur aéronautique élargit ses services de maintenance. Il arrive aussi que le glissement vers le service représente une nouvelle façon d'appréhender une activité industrielle : Air Liquide se considère désormais comme une société de service, avec pour vocation non pas la vente de gaz mais la capacité à utiliser des gaz. Enfin, le service peut être une véritable diversification : on le verra au chapitre 7 à propos du projet CLEF, défensif au départ, et qui a en fin de compte conduit un industriel de la métallurgie à se diversifier dans une prometteuse activité de services dans le recyclage, en partenariat avec un professionnel du traitement des déchets industriels, Tredi. Cette évolution est observée attentivement par la DiGITIP, et la part des services dans les projets est de mieux en mieux reconnue. Il est clair que les services, ceux du secteur tertiaire comme ceux de l'industrie manufacturière, sont appelés à tenir une part croissante dans ses activités.

L'exemple de la carte à puce illustre le fait que le développement des services peut aussi naître de l'évolution technologique. Le fondeur STMicroelectronics, le fabricant de cartes à puce Oberthur et la société Bull (qui fabriquait également des cartes à puce) se sont associés, dans le cadre d'un projet labellisé MEDEA lancé en 1997, pour créer une puce de nouvelle génération présentant une architecture analogue à celle d'un ordinateur et capable de gérer plusieurs applications de manière cloisonnée. Ainsi, par exemple, certaines informations confidentielles ne peuvent pas migrer d'une application vers une autre. Le fabricant Gemplus propose également des cartes capables de stocker et gérer des informations dans le cadre de services distincts et bien cloisonnés. Ainsi, la carte à puce est passée du stade de la carte à mémoire sécurisée (carte téléphonique) à celui d'un système de paiement (la carte bancaire) ou d'accès (carte SIM). Bientôt, elle pourra par exemple stocker des ordon-

nances (prochaine version de carte Sesame Vitale) ou des factures d'achat par téléphone mobile. Elle pourra devenir l'interface privilégiée entre un citoyen et sa commune, dans le cadre de ses activités de club (inscription, paiement des cotisations), de la scolarité des enfants, etc. (projets d'Issy-Les-Moulineaux ou Brême). L'activité des fabricants comme Gemplus, Oberthur ou Schlumberger (qui a fait l'acquisition de Bull CP8), renferme donc une part de plus en plus importante de services pour l'intégration à façon, la gestion ou l'assistance à la gestion des applications dans les cartes.

Une question capitale : la propriété intellectuelle

Pour que les entreprises s'engagent dans la R&D, elles doivent pouvoir espérer rentabiliser leurs travaux, et pour cela établir que les résultats obtenus leur appartiennent. La question de la propriété intellectuelle est donc étroitement liée à celle de la R&D. Et cela d'autant plus que, comme l'a montré une étude de l'OCDE, « c'est moins l'invention de nouveaux produits et procédés et leur mise sur le marché qui entraîne des avantages économiques majeurs que leur diffusion et leur utilisation ».

La France a des progrès à faire dans ce domaine. « Bien que les dépôts de brevets en France par les entreprises françaises aient enregistré une progression de 5,3 % par rapport à 1998, écrit la CPCI, la position technologique de la France, mesurée par sa part mondiale de brevets, tant dans le système de dépôt européen que dans le système américain, se dégrade fortement. Entre 1990 et 1999, dans le système européen, la part de la France chute de 8,5 % à 6,7 %, soit une perte de 21 % en neuf ans (ou - 2,6 % par an). Dans le système américain, la position française passe de 3,7 % à 2,9 % (- 2,7 % par an). »[7] Ce repli de la position française concerne tous les secteurs, sauf la chimie fine-pharmacie.

Les entreprises de pointe sont pourtant très attentives à leur politique de brevets. On a vu au chapitre 3 quels efforts STMicroelectronics déployait pour lancer de nouveaux produits très innovants. Le secteur des composants connaît régulièrement des conflits portant sur des brevets déposés par l'un des grands acteurs et utilisés par un autre.

STMicroelectronics, qui a formalisé au début des années 1990 sa poli-

(7) Commission permanente de concertation pour l'industrie, L'état de l'industrie française, rapport 2000, *Éditions de l'Industrie, Paris 2000.*

tique de propriété industrielle, dépose à peu près un brevet par million de dollars de dépenses de R&D depuis une douzaine d'années. Son portefeuille contient plusieurs milliers de brevets vivants d'importance capitale. « Cette performance, écrivait Piero Martinoti, directeur des « New Ventures » de STMicroelectronics, garantit l'avenir de l'entreprise en ce qui concerne la protection et l'exploitation de biens qui ont aujourd'hui au moins autant de valeur que nos immobilisations corporelles, sinon plus »[8]. Ces brevets sont non seulement une source de revenus mais une arme stratégique. Comme toutes les entreprises de son secteur, STMicroelectronics va parfois jusqu'à renoncer à certains travaux parce qu'ils l'obligeraient à utiliser un brevet détenu par un tiers non lié à la société par un accord ad hoc.

Pourtant, la question de la propriété intellectuelle ne se ramène pas au dépôt d'un nombre de brevets aussi élevé que possible, ce qui serait inutilement coûteux. STMicroelectronics réexamine d'ailleurs son portefeuille de brevets tous les ans afin de renoncer à ceux dont la valeur ne justifie pas leur renouvellement. Le nombre de brevets déposés n'est qu'un indicateur très approximatif des activités de R&D, car la propension à déposer des brevets varie selon les entreprises, les industries et les pays. Les laboratoires pharmaceutiques ont tendance à déposer beaucoup de brevets, une entreprise comme Michelin très peu.

Le brevet n'est pas tout

Les politiques de brevet des entreprises doivent tenir compte en effet de subtiles considérations stratégiques. Certains brevets sont déposés pour orienter la concurrence sur de fausses pistes, ou pour contourner un brevet concurrent. Il arrive qu'on renonce à déposer un brevet pour préserver un secret de fabrication. « Le vrai problème n'est pas celui du brevet, c'est celui de sa défense, souligne Denis Randet, délégué général de l'ANRT. En prenant un brevet, on divulgue son savoir-faire… et cela peut être grave si l'on n'a pas la volonté et les moyens de le défendre à travers le monde ». Déposer un brevet n'est donc pas un critère absolu dans un projet de R&D.

En outre, le secteur du logiciel soulève des problèmes très particuliers en matière de brevets. Contrairement à un produit matériel, le logiciel ne se démonte pas : il est très difficile de l'analyser sans connaître son code source. De plus, comme on l'a vu, c'est un produit « multicouches » : une application développée dans une couche supérieure doit s'appuyer sur des couches basses, notamment le système d'exploitation,

(8) SGS-Thomson Microelectonics, 25 000 People Dedicated to Success, *Institute éditeur, Paris 1997.*

ce qui risque d'ouvrir la porte à toutes sortes de contestations, mais aussi à des abus de position dominante. Certains éditeurs, notamment aux États-Unis, tendent à considérer toute nouveauté comme brevetable, indépendamment même du critère traditionnel de technicité.

Le mouvement du logiciel libre tranche dans le vif en renonçant tout simplement à ce type de protection. Le projet SALOME représente un cas très intéressant et sans doute encore rare, de mise en œuvre d'une véritable stratégie industrielle reposant sur le logiciel libre. La question de la propriété intellectuelle est donc à étudier cas par cas sans préjugé. Et elle se révèle être souvent l'un des points les plus épineux des dossiers de soutien à la R&D. La multiplication des travaux menés en coopération par plusieurs entreprises et par des laboratoires publics ne fait que la compliquer. Cette question de la propriété intellectuelle ne saurait en tout cas être laissée de côté : quand une start-up se crée pour exploiter un brevet obtenu en coopération, une imprécision dans ce domaine pourrait lui être fatale. Sans jamais imposer de solutions préfabriquées, la DiGITIP vérifie donc que le sujet a été traité – sachant qu'un partage de la propriété intellectuelle est la meilleure garantie d'une coopération réelle et pérenne entre les partenaires du projet.

Le cas du projet Simulforge est éloquent à cet égard : comme il fait intervenir un grand nombre d'acteurs (quatorze industriels, sept laboratoires, un éditeur de logiciels, le CETIM, etc.), un contrat détaillé a été établi pour définir les droits et obligations de chacun. Certains résultats considérés comme stratégiques (ceux qui comportent une avancée des logiciels au niveau du savoir-faire des forgerons) ne pourront être diffusés sur le marché qu'avec un différé de cinq ans.

La propriété industrielle reste cependant un thème en devenir. La création espérée d'un brevet communautaire unique, qui irait au-delà du regroupement actuel des procédures nationales, modifiera les données du problème. Et la R&D elle-même peut dans certains cas contribuer à apporter des solutions : c'est ainsi que le secrétariat d'État à l'Industrie a apporté son soutien à un projet visant à développer des « cahiers de laboratoire » numériques, qui serviront à établir à l'aide de signatures électroniques l'antériorité de travaux de recherche notamment en pharmacie, en chimie ou dans les sciences de la vie.

5 Entrer dans la société de l'information

Déficitaire et menacé de perdre son indépendance voici quelques années, Thomson multimedia a réussi un rétablissement spectaculaire en s'imposant comme le leader mondial dans certains domaines de l'électronique grand public. Cette évolution remarquable, rendue possible par le maintien d'un effort de R&D constant, prouve que les entreprises françaises sont capables de jouer un rôle de premier plan dans la société de l'information. Pour cela, elles doivent souvent s'engager dans des politiques de coopération, entre elles et avec des laboratoires publics. L'État leur apporte son concours financier soit par des subventions, pour les projets les plus en amont ou les plus coopératifs, soit par des avances remboursables.

Le cas ADTT

Au milieu des années 1990, le chiffre d'affaires de Thomson multimedia (TMM) stagnait autour de 35 milliards de francs tandis que ses pertes se creusaient : elles atteignaient 3,4 milliards de francs en 1996, soit environ 10 % du chiffre d'affaires. C'était l'époque, on s'en souvient, où il était envisagé de céder l'entreprise à un groupe coréen.

Pourtant, aux moments les plus difficiles de son histoire, alors que son chiffre d'affaires provenait essentiellement de produits très traditionnels à faible marge, TMM continuait à préparer son offre de demain. Malgré les menaces à court terme sur son avenir financier et institutionnel, l'entreprise n'a jamais renoncé à développer ses technologies et déposait une cinquantaine de brevets chaque année. Ce chiffre peut paraître faible comparé aux 300 inventions déposées

durant la seule année 2000, mais témoigne d'un effort conséquent pour l'époque.

Le rôle de Thomson multimedia dans Eurêka ADTT

De juin 1994 à décembre 1996, en particulier, TMM a été l'un des principaux acteurs du grand projet européen Eurêka Advanced Digital Television Technologies *(ADTT). Ce programme destiné à développer des technologies numériques de télévision réunissait quarante et un partenaires de dix pays d'Europe. Outre TMM figuraient parmi eux Nokia, Philips, des consortiums anglais, italien et espagnol. Au total, 674 années x hommes ont été investies dans le projet chaque année pendant deux ans et demi, pour un coût total de 250 millions d'euros. Les partenaires français du projet ont bénéficié d'un soutien financier du secrétariat d'État à l'Industrie pendant toute sa durée.*

ADTT couvrait toute la chaîne numérique de l'image : production, transmission, réception et visualisation. Les efforts des partenaires ont été articulés autour de trois grandes applications :

- une chaîne de production vidéo numérique pour applications cinématographiques

- un réseau de salles vidéo haute définition

- la vidéocommunication de grande qualité sur réseaux de télécommunications.

Des préfigurations de ces trois applications ont été présentées en public dès le mois de septembre 1996, à l'occasion de la grande exposition professionnelle de la télévision IBC. En particulier, une retransmission du Don Carlos *de Verdi a été organisée entre Amsterdam et un réseau français de salles haute définition. Elle a démontré, en vraie grandeur, les riches possibilités de la vidéo numérique.*

Le programme ADTT a donc été un succès technologique. Mais il restait beaucoup à faire pour transposer ses acquis dans des produits offerts sur le marché. TMM et d'autres grands industriels européens allaient donc prolonger les acquis d'ADTT en engageant le programme ADTT2.

Le processus continu de R&D

Cette nécessité de procéder par étapes n'avait rien de surprenant. Le marché n'a pas attendu les technologies numériques : le cinéma, la télévision prospéraient fort bien avec les technologies analogiques traditionnelles. Passer au numérique signifiait remettre en cause des savoir-faire bien maîtrisés, des équipements coûteux et de bonne qualité, des standards solidement installés. On pensait bien que le

numérique finirait un jour par s'imposer en raison de sa souplesse, mais on savait que cela représenterait une révolution culturelle pour les professionnels. De plus, chaque « maillon » de la chaîne de l'image pouvait servir de point d'entrée dans la société de l'information ; il était impossible de dire où et à quel moment l'équation avantages/inconvénients basculerait en faveur du numérique.
Il fallait donc accomplir un effort de R&D prolongé, déterminé et multiforme, comme une sorte de jeu de go technologique, pour espérer convaincre un jour le marché. Au moment du lancement d'ADTT, les participants savaient bien qu'il faudrait des années avant qu'un opérateur ne lance une chaîne de télévision haute définition. L'objectif était de préserver en Europe un niveau de compétences technologiques tel que l'industrie pourrait faire face aux besoins le jour où la télévision numérique décollerait. Et aussi d'apporter aux professionnels des équipements nouveaux, en avance sur ceux dont le grand public disposerait dans l'avenir.
D'ailleurs, ce premier projet ADTT s'appuyait sur les acquis d'un programme européen antérieur, le projet EU 95 HDTV. Déjà soutenu par le secrétariat d'État à l'Industrie, il avait cherché à développer un système complet de télévision haute définition en technologie analogique. Le système n'avait pas pu s'imposer, notamment en raison des progrès accomplis au même moment par les technologies numériques. Le travail de R&D effectué n'avait pourtant pas été inutile ; il avait entre autres contribué à l'adoption du nouveau format de télévision 16/9. Mais surtout, une bonne partie de ce travail avait porté en réalité sur des technologies numériques. Les équipes de R&D qui allaient travailler sur le projet ADTT avaient ainsi commencé à se constituer.

Un pas de plus dans la société de l'information

ADTT2 s'inscrivait donc dans une « longue marche » vers la société de l'information. Ce nouveau programme allait se concentrer sur les utilisations professionnelles « non broadcast *» de la vidéo numérique, telles que la vidéoconférence, l'enseignement à distance, le télétravail, etc. (l'application « réseau de salles vidéo haute définition » d'ADTT faisait de son côté l'objet d'un autre projet européen, Cinenet). Cette orientation du projet était influencée par celle du marché : aucun radiodiffuseur européen ne paraissait projeter de lancement de service de télévision numérique, et la R&D se concentrait donc sur les voies les plus réalistes.*

Cette deuxième phase engagée le 1er janvier 1997 et clôturée le 31 décembre 1998 a regroupé vingt-cinq des participants au projet initial. Les travaux ont été répartis entre deux groupes d'application. Le premier avait pour objectif de constituer une chaîne complète de production de film utilisant les techniques de l'imagerie numérique. Le second groupe devait se consacrer aux techniques de vidéocommunication des entreprises dans un environnement multimédia intégré. Le projet a dans l'ensemble parfaitement réussi. Il a abouti pour le premier groupe au tournage d'un film au moyen d'un prototype de caméra vidéo de qualité film, pour le deuxième groupe à la définition d'un ensemble d'équipements intégrés.
À nouveau, l'objectif de ce second groupe consistait moins à lancer un nouveau service à une date donnée qu'à entretenir des compétences technologiques et à se tenir prêt à participer au lancement commercial d'un système utilisant les normes de la vidéo numérique (MPEG-2, DVB, etc.). Et à nouveau, ADTT2 ne serait qu'une étape dans une évolution technologique. D'autres programmes ont poursuivi ces travaux, par exemple le projet Cine Video, piloté par la Division Broadcast de TMM, actuellement en cours dans le cadre du programme PRIAMM.

Un domaine trop vaste pour réussir seul

Les deux projets ADTT ont été sensiblement différents dans leur mode d'organisation. ADTT1 (comme auparavant EU95 HDTV) avait un seul objectif d'ensemble et était réparti entre plusieurs sous-projets, ce qui exigeait un gros travail de coordination centrale. ADTT2 ne comprenait que deux groupes d'application, et son comité de pilotage avait d'emblée fait le choix de limiter les dimensions du Project Office *chargé du fonctionnement du projet au jour le jour. En revanche, ADTT1 comme ADTT2 ont réuni de nombreux participants.*
Certains d'entre eux étaient des concurrents directs, notamment Philips et TMM. Néanmoins, le partenariat qui s'est développé au cours des projets a été jugé d'exceptionnelle qualité. Il s'est clairement manifesté lors de la présentation collective des deux applications ADTT2 en vraie grandeur et pendant six jours consécutifs, dans le cadre de l'exposition internationale IBC'98 à Amsterdam.
La présence de partenaires de très haut niveau était un gage de viabilité du projet. Ainsi, dans ADTT2, il fallait développer une carte d'acquisition et de restitution en temps réel d'images vidéo haute définition ; ce travail a été pris en charge par la société CRIL Ingénierie,

SSII spécialisée dans les systèmes d'informatique technique qui a fait de l'imagerie numérique l'un de ses principaux axes d'activité. Les objectifs pour caméra vidéo numérique ont été mis au point par Angénieux, le seul grand producteur d'objectifs pour la télévision et le cinéma qui ne soit pas japonais, dont la renommée devait faciliter l'acceptation de la chaîne numérique par les opérateurs traditionnels. Mais la collaboration entre des acteurs majeurs a aussi facilité l'émergence de normes (DVB, MPEG) autour des technologies européennes. Cela représente un potentiel commercial considérable, dans la mesure où nul ne souhaite réitérer l'incompatibilité des standards de télévision classiques NTSC, PAL et SECAM.

La renaissance commence par la R&D

Depuis 1997, TMM a réussi un redressement spectaculaire. L'injection de nouveaux capitaux (une recapitalisation publique de près de 11 milliards de francs en décembre 1997, puis l'arrivée de grands actionnaires français et étrangers et enfin la privatisation par introduction en Bourse en octobre 2000) a permis de réduire les coûts financiers dûs à un endettement colossal. Des mesures énergiques de restructuration industrielle ont été prises, soutenues par une forte mobilisation de l'entreprise. Mais surtout, TMM a réorienté sa stratégie et exploité son superbe portefeuille de brevets.

Le TMM de 1996 était l'un des premiers producteurs mondiaux de téléviseurs et de magnétoscopes de technologie classique. Pour réussir sur ce marché mûr, il fallait satisfaire à une condition nécessaire et presque suffisante : pratiquer des prix bas. Sur ce terrain, TMM était incapable de rivaliser avec les producteurs asiatiques aux coûts moins élevés. Son redressement commercial et financier est dû à son recentrage sur des marchés porteurs, à de nouveaux produits à forte valeur ajoutée et à de nouveaux services interactifs.

La société s'est aussi renforcée en nouant des partenariats stratégiques avec d'autres grands industriels comme Alcatel, Microsoft ou NEC, etc., sur des thèmes aussi spécifiques que les réseaux vidéo interactifs ou les écrans à plasma, ou même par des acquisitions comme celle du leader mondial de la fabrication de films Technicolor, ou celle de Philips Broadcast. « Les deux équipes se connaissaient déjà bien pour avoir fait de la R&D ensemble, explique Jacques Dumont, de TMM, qui a dirigé l'un des groupes de travail d'ADTT2. L'un des grands mérites des programmes coopératifs européens est qu'ils amènent les équipes de R&D à se connaître, à s'apprécier et, dans des conditions parfaitement

définies, à partager les connaissances développées dans le cadre du projet. »
Seul ou à travers des entreprises communes, TMM est devenu numéro un mondial des décodeurs numériques et des téléphones domestiques et numéro un américain des téléviseurs. Sur les marchés des écrans et composants (18 % de son chiffre d'affaires), TMM est leader mondial des tubes de grandes dimensions et occupe des positions importantes pour les écrans à plasma et les têtes de lecture optique pour DVD. Dans le domaine des services, TMM propose des solutions complètes pour médias numériques à l'intention des fournisseurs de contenus et des opérateurs de réseaux multimédias ; géré de manière plus dynamique, son portefeuille de brevets et licences lui rapporte désormais 4 % de son chiffre d'affaires.
L'effort de R&D s'est enfin accru dès que les premières retombées concrètes du rétablissement industriel et financier l'ont permis. En 1998 et 1999, TMM a notamment préparé l'introduction des téléviseurs interactifs TAK, des modems câble, des baladeurs MP3, et des technologies d'enregistrement optique double densité. En 2000 et 2001, des axes de recherche nouveaux ont été lancés dans les domaines des écrans organiques, de l'enregistrement optique en laser bleu, des communications sans fil à haut débit, et des serveurs de contenus multimédias professionnels et grand public.
Cette vaste offensive technologique et commerciale n'a été possible que parce que TMM a poursuivi, avec le soutien des pouvoirs publics, une politique de R&D active et résolument tournée vers une nouvelle génération de technologies. « Si TMM est encore en vie, c'est en partie grâce à ADTT », estimait un expert européen à l'issue des deux phases du programme.

Un vaste effort de R&D pour soutenir le développement de la société de l'information

La société de l'information recouvre les télécommunications, l'informatique et l'audiovisuel, et dans une certaine mesure le secteur des composants (voir chapitre 3). Ces industries sont un facteur important de compétitivité pour toute l'économie, y compris les PME : comme l'indique une étude sur *les TIC et l'emploi en France*, la contribution des TIC

à la croissance est quatre fois supérieure à leur part dans le PIB. Rapide, leur évolution dépend largement de la R&D : si la construction aéronautique et spatiale a été le secteur économique qui effectuait le plus de R&D en France pendant tout le début des années 1990, la palme, brièvement détenue par la pharmacie en 1997, appartient depuis 1998 au secteur des télécommunications dans son ensemble.

Les entreprises des TIC accomplissent un effort de R&D très supérieur à celui de l'industrie manufacturière, en France comme dans tous les pays de l'OCDE. L'effort public en leur faveur a longtemps été comparativement faible en France (alors qu'il augmentait très fortement aux États-Unis) – même si le PCRD européen lui apportait un complément important. Or la R&D dans ce secteur est rendue plus difficile par le raccourcissement des échelles de temps : les entreprises doivent rechercher la rentabilité à court terme, ce qui milite contre la R&D… alors que sans R&D il n'y aurait pas de long terme. Et la convergence des technologies durcit encore plus la concurrence. Dans le passé, de manière très schématique, l'Amérique dominait l'informatique, le Japon l'électronique grand public et l'Europe les télécoms. Aujourd'hui, l'effacement des frontières entre ces trois secteurs (Cisco, par exemple, relève autant de l'informatique que des télécoms) tend à multiplier le nombre des concurrents.

L'État soutient donc le développement de certaines technologies pour assurer la place de la France dans les TIC. Plusieurs réussites remarquables montrent bien que la France n'a aucune raison de baisser les bras. A côté d'un grand groupe comme Thomson multimedia, des entreprises plus petites parviennent à se faire reconnaître au niveau mondial. MPO en est un exemple. Cette société familiale de Mayenne, qui a été l'un des derniers fabricants de disques vinyle en France, a su prendre à temps le tournant du CD musical. Dès le milieu des années 1990, elle a lancé sur le marché une gamme de supports optiques enregistrables et est devenue l'un des leaders mondiaux du pressage de disques optiques. Elle a aussi entrepris des travaux de R&D avec le CEA-LETI sur les procédés de dépôt de matériaux à changement de phase qui lui permettront de monter dans le train du DVD enregistrable. Dans le cadre du projet Eurêka Remod, associant des entreprises, universités et centres de recherche français et allemands sous le leadership de l'un des centres de R&D allemands de Thomson multimedia, MPO a fait appel à des compétences pointues et multiples (plasturgie, galvanoplastie, photopolymérisation, etc.), qui lui ont permis de mettre au point un DVD réenregistrable de 8,5 GOctets. MPO a ainsi réussi à s'imposer dans ce sec-

teur comme le seul grand acteur non japonais, et comme une référence technologique mondiale. En matière de contenus aussi, certaines entreprises françaises ont réussi à accéder aux premiers rangs mondiaux. Soutenus par le fonds d'aide à l'édition multimédia créé par le ministère de la Culture et le secrétariat d'État à l'Industrie, Infogrames et Ubisoft figurent ainsi parmi les tout premiers acteurs mondiaux des jeux informatiques grâce à un effort de R&D permanent, visant à enrichir sans cesse leur catalogue.

Un effort de R&D permanent : c'est en effet une condition essentielle pour préserver de telles positions. Face à une concurrence vigoureuse, les positions ne sont jamais durablement acquises. La gestion du temps est particulièrement complexe : un produit doit arriver exactement à son heure, son espérance de vie ne dépasse pas quelques années, et tout en étant radicalement nouveau il doit souvent s'inscrire dans un continuum, en restant compatible avec ce qui l'a précédé. Il est parfois soumis à la disponibilité commerciale de produits, de services ou de données fournis par d'autres acteurs : un radar de guidage automobile ne se conçoit pas sans cartes numériques, et les jeux Infogrames ou Ubisoft sont inutiles sans les consoles des grands fournisseurs japonais. Autant de particularités fortes et originales, dont il faut tenir compte lors de l'examen des dossiers de R&D concernant la société de l'information.

Coopération : en R&D, l'union fait la force

Dans ses *Perspectives de la science, de la technologie et de l'industrie 2000*, l'OCDE a formulé treize recommandations pour stimuler l'innovation. Voici les deux premières :

- Améliorer la gestion de la base scientifique en assouplissant les structures de la recherche et en renforçant la collaboration université-industrie.
- Veiller à préserver le progrès technologique à long terme par un financement adéquat de la recherche publique et par des incitations à la collaboration interentreprises au stade de la recherche préconcurrentielle.

Ces recommandations rejoignent les principes appliqués depuis plusieurs années en France, où la coopération entre entreprises, et entre entreprises et laboratoires publics ou privés, est encouragée par le gouvernement. La coopération entre entreprises peut prendre de multiples

formes, allant jusqu'à la création d'entreprises communes. Selon l'OCDE, les accords de R&D sans prise de participation sont devenus la forme de partenariat la plus répandue dans la deuxième moitié des années 1980 et dans les années 1990. ADTT peut faire figure de modèle en la matière (en fait, la R&D y a précédé et non suivi une prise de participation : à la suite des travaux menés en commun, TMM a repris en 2001 la branche « broadcast » du groupe Philips).
Il arrive d'ailleurs à la DiGITIP de contribuer à cette coopération : informée de nombreux projets, elle peut, grâce à son impartialité, favoriser leur rapprochement. Il est ainsi possible dans certains cas d'éviter une dispersion des efforts. Dans le cadre de la procédure Autoroutes de l'information, deux projets également prometteurs, Gaudi à Marseille et Francile en Ile-de-France, avaient prévu d'expérimenter de nouveaux moyens de paiement et d'information électroniques dans les transports en commun. La DiGITIP a incité au rapprochement des deux expériences. La société Topcard, chargée de concevoir et fabriquer les équipements de paiement du projet Gaudi a alors fait évoluer sa technologie des systèmes à infrarouge vers le système de carte à puce du projet Francile. Les développements réalisés ont facilité le passage de la phase d'expérimentation à la phase d'équipement en Ile-de-France, puis dans d'autres villes et à l'étranger, la DiGITIP ayant favorisé l'expansion la plus large possible de ce système au niveau national et international pour que le projet bénéficie d'un marché de taille critique. La réactivité de Topcard, qui avait renoncé à sa technologie propre au profit d'une coopération plus large, a été récompensée par le succès commercial.

Taille critique et effet d'entraînement

Il convient d'éviter que l'effort de l'État ne soit déséquilibré en faveur de la R&D des grandes entreprises et au détriment de celle des PME. En même temps, il importe de tenir compte du fait que, dans certains secteurs, l'essentiel de la R&D industrielle est nécessairement accompli par de grands groupes. Par ailleurs, de plus en plus de PME innovantes sont leaders sur des créneaux technologiques de pointe. La coopération entre entreprises contribue à mettre en valeur leur créativité et leur savoir-faire au service de l'ensemble de l'économie. Quant à la coopération entre entreprises et laboratoires, elle accélère la traduction concrète, sous forme de développements industriels, des recherches menées en amont. On verra aussi au chapitre 6, avec le cas Civis, comment la mise en commun de travaux de R&D menés par plusieurs spécialistes permet éventuellement de parvenir à un tout supérieur à la somme des parties.

Dans certains domaines, la taille critique est tellement élevée que la coopération est devenue nécessaire même pour les plus grands groupes mondiaux. C'est le cas pour Thomson multimedia. C'est aussi, on l'a vu au chapitre 3, le cas de STMicroelectronics, qui est pourtant l'un des premiers fabricants de composants électroniques mondiaux : certains programmes de R&D sont si coûteux qu'ils seraient hors de sa portée sans des alliances avec d'autres grands acteurs et un travail en commun avec des dizaines de laboratoires.

Coopération institutionnalisée

La coopération est donc désormais une condition explicite de la plupart des appels à projets. Ainsi, l'appel à projets permanent du réseau de recherche et d'innovation technologiques Matériaux et Procédés requiert que les projets soient conduits en partenariat et regroupent plusieurs acteurs, dont au moins une entreprise et un laboratoire relevant d'un établissement public de recherche, et de préférence une ou plusieurs PME. Cette exigence semble bien comprise par les entreprises : deux seulement des déclarations d'intention déposées pour l'appel à projets Bio-ingénierie 2001 ont été écartées parce qu'elles ne respectaient pas la condition de présence d'un laboratoire public parmi leurs acteurs. Le nombre de participants à un même projet est parfois élevé : le projet Simulforge, à cheval sur les domaines de la métallurgie et de l'informatique, en comptait dix-sept !

Dans le cas de STMicroelectronics, où les soutiens sont régis par un contrat-cadre, ce dernier exige un niveau important de coopération dans la R&D. STMicroelectronics exerce ainsi un effet d'entraînement sur tout un pan du tissu industriel français en redistribuant à ses partenaires, notamment des PME, plus de la moitié des aides reçues de l'État.

La nature des soutiens financiers

Les soutiens financiers publics à la R&D industrielle prennent deux formes : les avances remboursables en cas de succès et les subventions. Les subventions sont plus particulièrement destinées aux projets au rendement privé trop faible pour que les firmes les entreprennent sur leurs propres fonds tandis que les avances remboursables sont attribuées à des projets au rendement économique suffisant en cas de réussite mais

trop incertain. La distinction entre subventions et avances se fait donc au cours de l'instruction du dossier par une analyse précise du caractère diffusant des travaux.

Depuis quelques années, les avances remboursables ont été développées au détriment des subventions. Elles s'inscrivent dans une perspective de marché et font l'objet de règles explicites ; par exemple, les avances remboursables atteindront au maximum 40 % des dépenses éligibles directement liées au programme aidé (frais de personnel, sous-traitance, frais directs de recherche donnant lieu à facturation, investissements amortis sur la durée des travaux). Néanmoins, l'effet de levier est le plus efficace quand la recherche est le plus en amont. C'est là où les décisions sont les plus difficiles à prendre mais où le rôle de l'État est le plus important. Les subventions sont alors plutôt destinées à ce type de projets ou aux projets très coopératifs : plates-formes, projets pré-normatifs. La DiGITIP ne prend pas de participations dans les entreprises (même si elle a participé à la création du fonds public pour le capital-risque et du fonds de promotion du capital-risque qui visent à produire un effet de levier en faveur des entreprises nouvelles). Cependant, la structure financière a une place importante dans l'instruction des dossiers. Il arrive que l'attribution de financements soit subordonnée à un renforcement de la structure financière des entreprises. Mais l'entreprise demeure libre de choisir les investisseurs : en particulier, l'introduction en Bourse n'est pas un critère d'instruction des aides.

6 Quand la R&D améliore les services publics

Civis a additionné plusieurs innovations pour créer un mode de transport en commun original. Ce cas met en valeur les apports de la R&D aux services publics, et plus généralement les retombées collectives (ou « externalités ») des projets de R&D industrielle soutenus par l'État. Le processus d'innovation n'est pas linéaire : les réseaux de recherche et d'innovation (RRIT) facilitent les contacts entre la recherche publique et la R&D industrielle, afin d'accélérer la diffusion des innovations. La R&D à vocation militaire est également une source fructueuse d'innovations à usage civil.

Le cas CIVIS

Irisbus est l'un des premiers constructeurs mondiaux d'autobus et d'autocars. La société occupe de fortes positions en Europe avec plus de 20 % des immatriculations. Numéro un en France, en Italie, en Espagne, en Hongrie, en République Tchèque, elle possède des usines et des centres de R&D dans tous ces pays. Elle compte plus de sept mille salariés. Les véhicules de sa gamme, l'une des plus larges offertes sur le marché, sont vendus sous plusieurs marques : Renault, Iveco, Heuliez, Ikarus, Karosa, Orlandi.

La société Irisbus a été créée le 1er janvier 1999, mais ses fondateurs construisent des véhicules de transport public de passagers depuis près d'un siècle. Elle innove sans cesse. Pour lutter contre la pollution, par exemple, elle a mis au point des véhicules fonctionnant au gaz naturel ou à l'électricité ; pour faciliter l'accès des handicapés, elle a conçu des autobus à plancher bas.

Apparus au début des années 1990, ces derniers ont tout de suite rencontré un grand succès chez les usagers et les exploitants. Mais ils n'ont pas tardé à susciter de nouvelles attentes.

De nouvelles attentes chez les usagers et les décideurs

En effet, le plancher de ces véhicules n'est surbaissé que sur une partie de leur longueur : il faut bien placer le moteur quelque part et transmettre l'énergie aux roues. La solution classique est de ménager une plage surélevée à l'arrière, sous laquelle sont logés le moteur, la transmission et l'essieu des roues arrière. Les gammes Agora et Citybus d'Irisbus sont construites sur ce modèle.

Le passage de la partie basse à la partie arrière surélevée se fait soit par une marche, soit par un plan incliné. Ce passage est en outre relativement étroit au niveau de la double paire de roues arrière. Ces deux particularités – dénivellation et exiguïté du couloir - se traduisent par une certaine désaffection des usagers à l'égard de la partie arrière. Une étude menée en 1994 par l'INRETS en partenariat avec Renault VI, auprès d'un nombre important de collectivités locales en France et à l'étranger, a révélé tout l'intérêt d'une architecture de véhicule offrant un plancher bas et plat sur toute sa longueur. A la suite de cette étude Renault VI, l'un des fondateurs de Irisbus, a pris la décision de développer un véhicule surbaissé de « deuxième génération » intégralement bas.

Cela n'a pas échappé aux responsables de certaines collectivités locales. Conscients que les transports en commun sont pour eux un vecteur d'image important, ils ont poussé les constructeurs à mettre au point des véhicules « de deuxième génération », à plancher intégralement bas et plat.

Diverses solutions ont été envisagées : transmission de l'énergie aux roues arrière par un jeu de pignons et non plus par un arbre et un essieu, implantation de l'essieu arrière à l'extrémité arrière du véhicule, etc. Toutes présentaient divers inconvénients, comme d'augmenter le rayon de braquage des véhicules.

Du plancher bas au moteur-roue

Les équipes de R&D de Renault VI eurent l'idée de supprimer l'essieu et la transmission en couplant un moteur électrique à chacune des roues arrière. Ainsi, la transmission de l'énergie se ferait par fil et non plus par un dispositif mécanique. Et pour gagner encore plus d'espace, le moteur serait placé à l'intérieur des roues, élargies mais non dédoublées (ce qui permettrait du même coup d'agrandir le couloir intérieur des véhicules). L'électricité fournie au « moteur-roue » serait produite par le moteur diesel des véhicules.

Elle pourrait d'ailleurs provenir aussi bien d'un moteur à gaz (et

pourquoi pas, plus tard, d'une pile à combustible), ou encore d'une alimentation électrique extérieure de type trolleybus. Ce développement est arrivé à point nommé pour répondre à une préoccupation commerciale à moyen terme. Des années auparavant, Renault VI avait équipé en trolleybus certaines villes françaises. Ces matériels allaient arriver en fin de vie, mais faute de remplaçants potentiels dans sa gamme, le marché du renouvellement risquait d'échapper à Renault VI. Les travaux de pré-développement commencèrent en 1994-1995. Une convention d'aide à la recherche fut alors signée avec le secrétariat d'État à l'Industrie pour la phase d'étude de faisabilité, qui devait s'achever en 1997 après la construction d'un « démonstrateur » technique (en l'occurrence le réaménagement d'un autobus d'un modèle déjà commercialisé).

Ce démonstrateur ne servirait pas seulement à « montrer » : il a permis le lancement d'une phase de tests. Tous les composants mis en œuvre avaient d'ailleurs subi de très nombreux essais préalables. Ceux-ci s'étant avérés satisfaisants, Renault VI a pu lancer en 1997 un programme destiné à réaliser un autobus et un trolleybus « de deuxième génération », respectivement dénommés V2G et VEG.

Le développement du démonstrateur a fait intervenir des compétences disponibles uniquement chez un petit nombre de fournisseurs spécialisés ; la réussite d'Irisbus a aussi consisté à choisir les bons partenaires. La conception du moteur-roue électrique a été confiée à GEC-Alsthom, celle du pneu « super-single » de 49,5 cm de large a été le fait de Michelin. Mais il a fallu aussi repenser toute l'architecture du véhicule. Tout ce qui était normalement placé sous la partie surélevée du plancher, comme les réservoirs à carburant et à air comprimé, devait naturellement être relogé ailleurs. Il fallait aussi reporter vers les montants de la carrosserie une bonne partie des efforts supportés par le châssis-poutre des véhicules traditionnels. Cela a impliqué une analyse fine des contraintes grâce à des calculs réalisés par le Centre technique des industries mécaniques (CETIM) à Saint-Etienne afin de déterminer les points optimaux de renfort du châssis.

Un nouveau système de guidage

Malgré les gros risques techniques et industriels de ce projet complexe, le développement s'est parfaitement déroulé. Renault VI avait donc la satisfaction d'avoir mis au point un produit nouveau et commercialement prometteur. Ce n'était pourtant qu'un début. Presque simultanément au programme VEG/V2G, en 1994, Renault VI

a lancé avec Matra Transport International un programme d'étude intitulé Visee. Son objectif : mettre au point un système optique qui améliorerait le positionnement des autobus aux arrêts. Tandis que Matra TI recevait un soutien du ministère des Transports, Renault VI était aidé par le secrétariat d'État à l'Industrie pour les travaux d'adaptation du véhicule.
Il existait une certaine convergence naturelle entre les deux programmes : l'accès des voyageurs et notamment des personnes à mobilité réduite serait facilité, au-delà du plancher bas, si les véhicules s'immobilisaient exactement au bon endroit. La convergence était telle que certaines tâches furent redistribuées d'un programme à l'autre lors d'une modification des conventions entre Irisbus et le secrétariat d'État à l'Industrie, en 1999.
Le démonstrateur de 1997 ressemblait très fortement à un autobus classique – et pour cause, puisque c'était effectivement un autobus transformé. Cela pouvait être un handicap commercial : les décideurs des collectivités locales sont soucieux de l'image de leur ville. Ils ne voulaient pas d'un trolleybus qui aurait pu apparaître comme un simple autobus électrifié. Or la nouvelle architecture apportait une liberté de création qui a permis de dessiner un véhicule d'aspect bien différent, le trolleybus Cristalis.

Davantage qu'un nouveau véhicule : un nouveau moyen de transport

En s'écartant de l'autobus, Cristalis évoque plutôt par son aspect une voiture de tramway. A cette époque, précisément, les villes françaises montraient un intérêt nouveau pour ce mode de transport « en site propre », donc bien moins soumis aux aléas de la circulation urbaine. Un petit nombre d'agglomérations s'étaient équipées et se disaient satisfaites. Bien mise en valeur, leur expérience leur conférait une aura nouvelle. Mais le tramway coûte cher. On commençait donc à réfléchir à des systèmes de transport intermédiaires entre autobus et tramway qui auraient eu l'image et la régularité du tramway sans exiger des infrastructures aussi coûteuses.
La première ville à lancer un appel d'offres dans ce domaine a été Caen. Renault VI avait alors présenté un système d'autobus articulé avec guidage optique aux arrêts qui n'avait pas été retenu. Mais la réflexion engagée à cette occasion allait conduire à la mise au point du système Civis.
Le système de guidage optique présentait une amorce de solution : il ne

restait qu'à le transformer en système de guidage longitudinal et non plus latéral.
Civis reprend toutes les innovations précédentes, agencées de manière à définir un nouveau système de transport, moyen terme bien pensé entre autobus et tramway. Ce système de transport utilise des véhicules à moteur-roue, alimentés soit par un moteur diesel (comme un autobus) soit par une source d'électricité extérieure (comme un trolleybus), qui suivent un marquage au sol grâce à un guidage optique non plus seulement latéral mais également longitudinal.
L'aménagement du site est moins coûteux que pour un tramway : les rails métalliques sont remplacés par un trait de peinture au sol, la précision du guidage permet d'utiliser l'espace au plus juste, et la relative légèreté du véhicule évite d'aménager une couche de roulement épaisse qui obligerait à dévier les canalisations existantes sous la chaussée.
De plus, il est parfaitement envisageable que certaines parties de trajet ne soient pas effectuées sur des voies réservées. Cela permet de remédier à des situations rencontrées dans les centres-villes exigus, ou encore

« Le concept Civis est intéressant par la bimodalité qu'il présente en terme de guidage et d'alimentation en énergie et par ses qualités en termes d'accessibilité, de confort, et de respect de l'environnement.
Ses principaux atouts se situent au niveau :
• de sa technique de guidage « souple », en particulier pour passer du mode guidé au mode non guidé et inversement ;
• de son accessibilité (plancher bas et plat intégral, circulation intérieure, accostage en station) ;
• de son mode guidé lui permettant d'avoir une insertion meilleure que tous les systèmes bus articulés de longueur équivalente ;
• de son autonomie possible par moteur diesel ou gaz selon des normes Euro 3, voire par batteries ;
• d'un design qui le démarque du bus classique et lui donne une image proche de celle d'un tramway, avec possibilité de personnalisation en particulier au niveau des faces avant et arrière.
En terme d'insertion dans le site, il présente des avantages en regard de la pente admissible, du rayon de giration, de la possibilité de circuler sur voie banalisée dans des limites raisonnables pour maintenir tout au long de la ligne un bon niveau de productivité. »
Nouveaux systèmes de transports guidés urbains, 1999,
Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (Certu).

d'aménager les sites propres par tronçons, pour des raisons budgétaires. Civis pourrait même servir d'étape intermédiaire à l'installation d'un tramway, ce dernier n'étant mis en service qu'après l'aménagement complet du site propre, et/ou lorsque la fréquentation est devenue plus importante pour justifier un investissement plus lourd.

Un nouveau métier pour l'entreprise

A partir d'innovations incrémentales (moteur-roue, système de guidage optique, pneu large…), apportées souvent par ses partenaires, Irisbus a réalisé avec Civis un tout qui représente plus que la somme de ses parties. La société est aussi entrée sur un nouveau segment de marché intermédiaire entre ceux du tramway et du bus. On aurait pu s'attendre à y rencontrer d'abord les fournisseurs allemands : les constructeurs de bus allemands occupent des positions importantes sur le marché, et de nombreuses villes allemandes sont équipées de tramways. Mais Irisbus a été le premier fournisseur européen à discerner ce créneau commercial auquel, apparemment, personne n'avait pensé au départ.

D'ordre technique au départ, le développement de Civis n'est pas sans conséquences pour l'organisation d'Irisbus. Là encore, la prise de conscience a été progressive. Pendant un temps, l'entreprise a eu tendance à vendre Civis comme un Cristalis équipé d'une option supplémentaire : le guidage optique. Elle a obéi ainsi à sa culture de constructeur : son métier consiste à développer des véhicules, à les construire et à les vendre. Mais Civis n'est pas un véhicule, c'est un système. Il impose une approche qui évoque celle du secteur ferroviaire : un projet doit être vendu d'abord, réalisé ensuite.

Un projet qui visait à abaisser le plancher des autobus a ainsi abouti de fil en aiguille non seulement à développer un nouveau système de transport mais encore à remettre en question partiellement l'organisation de l'entreprise. La R&D a tiré le marché et l'organisation.

Les mêmes innovations (notamment le moteur-roue) peuvent servir indifféremment à faire des Civis, des Cristalis ou des autobus de deuxième génération, mais ce sont là trois produits totalement différents. Le caractère commun de la R&D en réduit le coût, mais non la portée.

Civis pourrait même ouvrir la voie à une expansion géographique significative pour Irisbus. Les systèmes intermédiaires de transport soulèvent un intérêt notable aux États-Unis. La faible densité de population y justifie rarement les lourds investissements d'un matériel

de type ferroviaire comme le tramway, alors que l'espace disponible facilite l'implantation de réseaux de transport en site propre. Déjà, la ville de Las Vegas a commandé six véhicules Civis, dont l'un devrait être mis en service à titre de démonstration dès 2002.

Les externalités, première raison d'être des soutiens publics

Au fil de ces pages, on a quelquefois rencontré le mot « externalités ». Ce terme recouvre, dans ce contexte, une idée simple : certains projets de R&D ne sont pas intéressants uniquement pour l'entreprise qui les envisage, ils produiront des retombées utiles pour d'autres acteurs de l'économie, ou même pour la collectivité dans son ensemble. Or il arrive que, compte tenu des risques, du marché, etc., le rendement attendu d'un projet de R&D ne soit pas suffisant pour l'entreprise, alors qu'il serait important pour la collectivité. L'État, au nom de l'intérêt public, intervient donc pour que le projet soit néanmoins entrepris. Bien entendu, il est question ici d'externalités « positives », car il existe aussi des externalités négatives : la pollution engendrée par un procédé de production, par exemple.

Les externalités sont naturellement plus fréquentes dans des domaines comme les services collectifs. Le cas de Civis en est un exemple : d'une manière générale, les transports en commun apportent des externalités concernant notamment la lutte contre la pollution, les économies d'énergie, la sécurité des voyageurs, la gestion du trafic et le développement du territoire. C'est pour cette raison, notamment, que l'État soutient le développement des équipements destinés à l'amélioration des transports collectifs.

La logique des externalités explique aussi le soutien apporté à un projet comme SALOME (voir chapitre 4) : une stratégie « open source », supposant un gros investissement, sans recettes découlant directement du produit développé, n'est évidemment pas exempte de risques pour son promoteur, alors même qu'elle se traduit par d'importantes retombées pour la communauté d'utilisateurs.

Dans l'informatique, ce cas est loin de concerner uniquement les logiciels libres : la DiGITIP cherche à accélérer, par exemple, le développement des solutions cryptographiques, qui devraient soutenir l'essor des transactions en réseau. D'où le soutien apporté à des projets de R&D

tels que Cristal, qui vise à développer une solution de signature électronique sécurisée à base de carte à puce conforme au décret du 30 mars 2001 sur la signature électronique.

Les biotechnologies sont aussi une industrie où l'on attend à terme beaucoup d'externalités, alors que peu d'entreprises sont rentables dans l'immédiat ; elles bénéficient donc de soutiens importants.

Le nombre des participants à un projet peut aussi favoriser les externalités en facilitant la diffusion des nouvelles technologies dans certains secteurs. Tel est le cas dans le projet Usinage à grande vitesse. Celui-ci vise à accélérer le fonctionnement des machines-outils utilisées dans l'industrie manufacturière. L'industrie française de la machine-outil se compose de quelques PME spécialistes de secteurs à haute valeur ajoutée. Le projet Usinage à grande vitesse fera progresser globalement leurs compétences, sans donner lieu au développement d'un produit spécifique. Il a donc bénéficié d'un soutien actif, non seulement financier mais également organisationnel, car le montage d'un projet collectif associant plusieurs entreprises peu habituées à partager leur R&D a exigé beaucoup de travail.

Par définition, les entreprises ne sont pas intéressées par les externalités : leurs projets de R&D visent à leur conférer un avantage concurrentiel, et elles s'efforcent de conserver les retombées pour elles. L'État, au contraire, souhaite souvent une diffusion des résultats vers le plus grand nombre d'acteurs. C'est l'une des raisons du soutien apporté aux dossiers en coopération, comportant un partage de la propriété industrielle. Il n'existe pas cependant de règle générale : sur un marché très concurrentiel, il est difficile de convaincre une entreprise de lancer un projet dont elle ne pourrait s'approprier tous les résultats. L'État n'incite évidemment pas les entreprises à aller contre leurs intérêts et soutient au contraire la défense de leur propriété intellectuelle. D'ailleurs, le dépôt d'un brevet, qui sanctionne cette appropriation des résultats, peut néanmoins être source d'externalités en stimulant la R&D d'autres entreprises…

La présence ou non d'externalités influe sur la nature des aides apportées par l'État : on privilégie les avances remboursables quand le projet laisse espérer des retombées importantes pour les porteurs de projets ; on s'oriente plutôt vers les subventions lorsque les retombées prévues intéressent essentiellement la collectivité.

Du PREDIT aux RRIT

Le processus d'innovation technologique n'est pas linéaire. Il ne part pas nécessairement de la recherche fondamentale pour aboutir au développement de nouveaux produits. L'innovation précède parfois la compréhension scientifique nécessaire à la conception des nouveaux produits ou procédés. Tirées par le marché, poussées par la concurrence et par leurs actionnaires, les entreprises tendent à privilégier le développement par rapport à la recherche et à concentrer leurs ressources sur le court terme, plutôt qu'à se constituer un portefeuille diversifié de technologies en amont des produits. La complexité croissante des technologies les amène parfois à externaliser leur R&D et à nouer des relations de partenariat entre elles et avec les institutions de recherche publique.

L'efficacité plus ou moins grande de ces liens entre les entreprises, et entre celles-ci et les laboratoires, influe sur la compétitivité nationale, comme l'ont montré des études théoriques. Le gouvernement français soutient donc la création de réseaux de recherche et d'innovation technologiques (RRIT) alliant laboratoires publics et entreprises de différentes tailles autour de thèmes clairement définis, et qui doivent orienter en grande partie la distribution des soutiens publics à la R&D industrielle.

Cette démarche avait été préfigurée par quelques expériences. Les Réseaux régionaux de diffusion technologique (RDT) créés dans les années 1980 visaient à coordonner les actions des acteurs publics du transfert de technologie. Le Programme interministériel de recherche et d'innovation technologique dans les transports terrestres (PREDIT), qui a soutenu le développement du système Civis, a adopté une démarche à la fois plus spécialisée et plus directement ouverte sur les entreprises. Au-delà d'une approche vers de grands programmes comme ceux sur la voiture propre ou sur le TGV, il affirmait une volonté globale : soutenir la R&D dans les transports terrestres. Le fonctionnement du PREDIT s'étant avéré satisfaisant, sa première édition (1990-1994) a été suivie d'une seconde (1996-2000) ; une troisième (2002-2006) est en préparation, avec pour priorités la mobilité durable des personnes et des biens, la sécurité des systèmes de transports ainsi que la réduction du bruit et des émissions de gaz à effet de serre. Le PREDIT 2 associait quatre ministères (transports, industrie, recherche, environnement) et deux agences publiques (ANVAR, ADEME) ainsi qu'un grand nombre d'entreprises et de centres de recherche qui ont conduit les recherches et

apporté la plus grande partie de son budget. Organisé autour de grands thèmes concernant les transports (véhicules propres, systèmes de transport, nouveaux services aux usagers…), le PREDIT vise non seulement à attribuer des aides mais aussi à stimuler les contacts entre des entreprises et des laboratoires de recherche confrontés à une problématique commune.

Des structures souples créées autour de grands thèmes technologiques

Si le PREDIT s'est créé autour d'une fonction, les RRIT sont plutôt créés autour de technologies plus ou moins largement définies, comme le logiciel, la génomique ou la pile à combustible. Présidés par un représentant de l'industrie, les RRIT ont pour vocation de favoriser le rapprochement entre recherche publique et entreprises, afin d'innover en matière de produits, de procédés ou de services et de participer ainsi à la création et à la croissance d'entreprises.

Les réseaux de recherche et d'innovation technologiques français ne sont pas homogènes : ce sont des structures souples. Il n'y a d'ailleurs création de réseau que si une demande est constatée chez les industriels. C'est ainsi que l'un des premiers réseaux envisagés, le RRIT Chimie, n'a pas vu le jour à la fin des années 1990 en raison du peu d'empressement de la profession. Cette souplesse facilite l'émergence de projets novateurs. Les priorités des réseaux sont définies tous les ans par leur Comité d'orientation, dont la composition est diversifiée.

En général, la création d'un réseau s'accompagne du lancement d'un appel à projets, afin de créer un effet d'entraînement (l'un ne précédant pas nécessairement l'autre : le réseau Audiovisuel et multimédia a fait suite à l'appel à projets PRIAMM). Les partenaires des dossiers « labellisés » par le réseau adressent des demandes de soutien aux ministères concernés. Les financements ne sont pas automatiquement accordés aux dossiers labellisés, mais les rejets sont rares, car les dossiers sont en général de qualité. En effet, les RRIT tiennent à assurer leur crédibilité, et la labellisation des dossiers n'a rien d'une simple formalité. Ainsi, sur les vingt-quatre premiers projets déposés devant le RNMP (Réseau national matériaux et procédés), dix seulement ont été labellisés dont trois en second examen après complément d'information. La labellisation ne garantit pas seulement la qualité des dossiers : elle crée une certaine transparence et un sentiment de communauté professionnelle.

La plupart des réseaux sont constitués avec le soutien d'au moins deux ministères, principalement le ministère de la Recherche et le secrétariat

d'État à l'Industrie. Ils sont placés sous la responsabilité d'un comité d'orientation. Celui-ci est assisté, selon des modalités qui peuvent varier d'un réseau à l'autre, par différentes instances (bureau exécutif, secrétariat, cellule d'animation, commission d'évaluation…), dont le rôle est d'assurer le fonctionnement quotidien du réseau et notamment la préparation des décisions de labellisation, les actions d'animation scientifique et technique, et la promotion des travaux du réseau, par exemple sur son propre site web.

Les principaux réseaux créés avec le soutien du secrétariat d'État à l'Industrie sont :

✔ Le Réseau national de la recherche en télécommunications (RNRT), premier RRIT créé, fin 1997. Il s'intéresse au futur de l'internet, aux prochaines générations de téléphones mobiles multimédia et aux constellations de satellites.

✔ Le Réseau national des technologies logicielles (RNTL). Il vise à renforcer et à valoriser le potentiel d'innovation de la communauté française du logiciel, en développant la coopération entre ses principaux acteurs.

✔ Le Réseau national matériaux et procédés (RNMP). Il couvre l'élaboration, la conception, la caractérisation des matériaux, les procédés de mise en œuvre et de mise en forme, l'optimisation, les traitements de surface et assemblages, le comportement, la durabilité, la fiabilité et les contrôles associés, les procédés et matériaux respectueux de l'environnement et la recyclabilité.

✔ Le Réseau national technologies pour la santé (RNTS). Il s'intéresse aux dispositifs médicaux susceptibles d'améliorer l'efficacité du système de santé, tels que la télémédecine ou les équipements de diagnostic, de thérapie et de surveillance.

✔ Le Réseau GenHomme. Il entend valoriser la connaissance de la génomique humaine et favoriser le transfert technologique sur des projets de génomique fonctionnelle humaine.

✔ Le Réseau Micro et nanotechnologie. Il est consacré au dimensionnement et au fonctionnement d'objets de très petites dimensions pouvant atteindre une taille moléculaire.

✔ Le Réseau Pile à combustible. Il couvre toute la filière nécessaire à la réalisation de piles à combustible, depuis le carburant jusqu'à l'utilisation de l'énergie fournie (électricité, chaleur).

✔ Le Réseau Eau et environnement. Il est destiné aux acteurs de la gestion des ressources naturelles.

✔ Le Réseau Audiovisuel et multimédia (RIAM). Il est voué au dévelop-

pement des industries de la culture, de la connaissance et du divertissement sur les réseaux numériques.
L'expérience des réseaux est encore récente, leur histoire reste à écrire. L'enjeu principal est leur capacité à mobiliser dans la durée l'ensemble des acteurs du secteur, tout en actualisant les priorités technologiques communes. Ce type d'action n'a de sens que dans le temps, c'est donc après quelques années que leurs actions pourront être évaluées.

Entre applications militaires et civiles : le « dual »

Comme le montre l'exemple de Civis, les besoins collectifs sont parfois un moteur important de la R&D industrielle. Ce n'est pas vrai seulement pour les transports en commun, mais aussi pour les télécommunications, les travaux publics ou la production d'énergie.
La Défense nationale est un cas particulier. Tout au long de l'histoire, les besoins des armées ont stimulé le progrès technique. En France comme à l'étranger, le secteur militaire a longtemps représenté une part dominante de la R&D. En 1994, 83 % des financements publics militaires allaient à une dizaine de groupes industriels travaillant pour la Défense, alors que ceux-ci n'étaient à l'origine que du tiers des dépenses de R&D des entreprises.
Les crédits de la Défense soutenaient souvent la R&D industrielle dans des domaines où le risque technologique était trop important pour que les entreprises s'engagent seules. Et de fait, la R&D d'origine militaire joue un rôle capital dans l'économie : il suffit de citer des noms comme Aérospatiale, Dassault, Matra ou Thomson pour en prendre conscience. Et l'importance du militaire ne concerne pas seulement les industries d'équipement ou l'électronique. Par exemple, l'internet avait au départ une vocation militaire.
Le vif recul des budgets de R&D militaire dans les années 1990 a donc fait naître une situation historiquement nouvelle. Il oblige à s'interroger sur les moyens de stimuler la R&D aujourd'hui, et de maintenir les compétences acquises. Si la réutilisation à des fins civiles de travaux menés dans un cadre militaire s'est toujours pratiquée, elle devient aujourd'hui un impératif de survie pour certaines entreprises.
La R&D à vocation militaire ne relève pas de la compétence de la DiGITIP, mais un grand nombre de travaux de R&D dans des domaines génériques comme les matériaux, les procédés, les composants, les télé-

communications ou les logiciels peuvent aujourd'hui encore avoir des applications militaires. De plus, le secrétariat d'État à l'Industrie est concerné par le sort des entreprises travaillant pour la Défense, en direct ou en sous-traitance, qui emploient au total plus de 300 000 salariés en France. Ces entreprises ont souvent des activités civiles dont l'avenir doit être pris en compte, et elles maîtrisent des technologies dont le potentiel est parfois grand. C'est ce qu'on appelle le dual, c'est-à-dire à double finalité : civile et militaire.

Les travaux de R&D visant à assurer le passage de technologies du militaire au civil représentent donc un enjeu considérable. Avec le soutien de la DiGITIP, Thomson-CSF Detexis, leader européen des radars aéroportés destinés aux avions militaires, a ainsi mis au point un radar d'aide à la conduite automobile. Sa compétence dans le domaine des radars sur plate-forme en mouvement a trouvé une application civile dans le domaine à fortes externalités de la sécurité. La société a pu amorcer une diversification vers le marché de l'électronique automobile et s'est alliée à un équipementier européen pour construire une usine. De même, la joint-venture Thomson Marconi Sonar SAS a mis au point des courantomètres à usage scientifique, issus de ses technologies militaires.

Les technologies duales vont devenir de plus en plus stratégiques et méritent donc une attention et un investissement renforcés, à l'image ce que font les États-Unis ou la Grande-Bretagne.

7 La protection de l'environnement, contrainte et opportunité

Le développement durable apparaît désormais comme un enjeu vital pour l'avenir de la planète. Ses contraintes sont en même temps de puissants stimulants pour la R&D industrielle, ainsi que le montre le cas CLEF. En s'engageant dans une démarche très ambitieuse de réduction et de valorisation des déchets, la fonderie Feursmétal n'a pas seulement assuré son avenir, elle a pu se diversifier dans une nouvelle activité prometteuse de recyclage. Les soutiens apportés par l'État s'appuient sur l'avis d'experts. Enfin, le cas de Feursmétal est un exemple parmi d'autres de participation de PME à des projets de R&D.

Le cas CLEF (Clean Foundry)

La loi du 13 juillet 1992 sur les déchets ultimes a laissé un délai de grâce de dix ans aux collectivités locales et aux grands pollueurs. Mais pour Feursmétal, spécialiste de la fonderie d'acier filiale du groupe AFE MÉTAL, l'échéance devait être bien plus proche : la création de l'écopôle du Forez, sur 750 hectares entre Montrond-les-Bains et Feurs, dans le cadre du programme Loire Nature, allait l'obliger à fermer son crassier, c'est-à-dire la décharge qui recevait les scories et autres résidus de ses procédés de production, et cela fin 1994 au plus tard.
Il existait une solution provisoire : mettre les déchets en décharge, au moins jusqu'au terme fixé par la loi du 13 juillet 1992. Cela aurait coûté à l'entreprise la bagatelle de 10 à 15 millions de francs de redevances par an, soit trois ou quatre fois ses résultats ! La fermeture

pure et simple de la fonderie n'était pas davantage envisageable : implantée depuis plusieurs générations à Feurs, une ville de 8 000 habitants, elle y employait plus de 500 personnes.
Il n'y avait donc raisonnablement d'autre issue que de rechercher une solution de réduction des déchets. Et puisqu'il fallait agir, autant placer la barre haut : plutôt que de réduire les déchets, on chercherait à les supprimer, en privilégiant le recyclage interne. Tel a été l'objet du projet CLEF (Clean Foundry).

L'ampleur du projet impose des partenariats

On commença par établir un inventaire complet et quantifié des déchets résultant de la fonderie d'acier. Ils étaient bien plus nombreux et plus divers que l'entreprise ne le supposait au départ : sables, grattons, laitiers, battitures, poussières de fours à arc, etc. Il allait donc falloir mettre en œuvre plusieurs procédés différents : pas moins de 120 programmes d'action furent identifiés, dont certains impliquaient des modifications importantes des procédés. C'était trop pour Feursmétal, qui se mit en quête de partenaires intéressés par cette action.
Le grand fondeur belge Magotteaux, qui n'était pas un concurrent direct, rencontrait des problèmes analogues, surtout dans son usine de Liège qui supportait des frais de décharge très élevés (elle mettait en décharge quelque 900 tonnes de sables par mois). Il se joignit volontiers au projet, et même lui ajouta de nouveaux volets. Des fournisseurs, Huttenes France et Laempe, étaient aussi intéressés par des aspects spécifiques du programme, y compris dans la perspective de 2002.
Si Feursmétal, initiateur du projet, en resta le chef de file, le travail fut néanmoins effectué de façon vraiment coopérative entre les partenaires, qui restèrent les mêmes d'un bout à l'autre du projet. Les réunions trimestrielles se déroulaient alternativement sur leurs différents sites. Des moyens matériels, humains et financiers importants furent affectés au programme. Feursmétal en particulier y affecta trois ingénieurs et constitua un laboratoire interne ad hoc. Heureusement, la culture de l'entreprise la prédisposait assez bien à mener une démarche de ce type : elle avait une longue tradition de développement de produit et d'assurance qualité, et son service méthodes était d'une importance inhabituelle puisqu'il occupait trente personnes.
La société avait déjà piloté trois programmes innovants en développement de procédé et de technologie entre 1988 et 1992 avec le concours de l'ANVAR. Tout naturellement, elle s'est à nouveau tournée vers l'Agence, qui lui a conseillé un programme européen Eureka. Le

projet CLEF a été labellisé au niveau européen comme programme Eureka. Cela a favorisé la constitution du partenariat, et le travail fait en commun a noué des relations durables. « Nous aurions lancé le projet même sans cette aide, explique Lionel Picard, alors responsable des travaux neufs chez Feursmétal, mais elle nous a permis d'engager plus résolument certaines études risquées et de financer des diagnostics de valorisation de nos travaux en direction d'autres industries comme la céramique, par exemple. »

Une R&D multifacettes

Le projet a favorisé les recyclages internes, par rapport à ceux confiés à d'autres industries et bien entendu par rapport à la mise en décharge. Les solutions ultimes ne devaient être envisagées qu'en dernier ressort, une fois toutes les autres solutions épuisées. Plusieurs thèmes ont été retenus :

✔ *Développer de nouveaux procédés de fabrication sans déchet, ou dont les déchets seraient plus faciles à traiter,*
✔ *Combiner les processus de fabrication et de traitement des déchets,*
✔ *Optimiser les technologies de régénération du sable de fonderie,*
✔ *Simplifier le tri et le conditionnement des déchets,*
✔ *Développer des filières de valorisation externes ou internes,*
✔ *Utiliser des produits ou matières premières moins générateurs de déchets (ou « co-produits »).*

Le projet a été articulé en deux volets : CLEF-sables et CLEF-fusion. Pour mouler les pièces de métal, la fonderie utilise des sables. Ils se divisent en deux catégories. Les sables silico-argileux sont normalement utilisables plusieurs fois dans les procédés, mais leurs caractéristiques physiques vont néanmoins en se dégradant. Les sables à liants minéraux ou organiques sont récupérables moyennant un traitement qui débarrassera les grains de sable de la gangue de liant durci. Le projet CLEF a porté à la fois sur la modification des liants, sur l'optimisation des traitements et sur la séparation en vue du recyclage. Le volet fusion a porté sur les trois catégories de déchets issus de la fusion : les déchets à haute teneur en métal (poussières de four, battitures de coupes, résidus de meulage, calamine…), les laitiers liquides, et les réfractaires. Le projet a permis de recycler le métal contenu dans les laitiers ainsi que les réfractaires basiques, et à réutiliser les laitiers en consolidation de remblai. Les traitements utilisés sont d'une grande diversité, allant de l'amélioration de la captation des poussières au conditionnement des déchets par broyage et classement

granulométrique en vue de leur réutilisation.
Au total, neuf lignes de progrès spécifiques ont été identifiées dans le cadre du projet ; deux de celles-ci (décapage des pièces inox et neutralisation des fumées d'huile brûlée ou vapeurs d'huile) ne concernaient que la société Magotteaux.
De nombreux procédés différents ont été utilisés : séparation magnétique, calcination, etc. « Les pistes suivies étaient parfois contradictoires, explique Lionel Picard. Nous avons conservé celles qui fonctionnaient le mieux, moyennant éventuellement une redistribution des tâches entre la fonderie d'acier et la fonderie de fonte. » Un nouveau procédé de fusion réductrice a été développé. Il permet de recycler l'ensemble des oxydes métalliques en leur conférant une valeur d'usage positive.

Autour du projet de R&D, un bouleversement de la culture d'entreprise

Il fallait un certain courage pour remettre en cause des techniques bien éprouvées, qui donnaient satisfaction et avaient éventuellement été qualifiées par les clients, afin de les remplacer par des solutions innovantes qui pouvaient réclamer une mise au point difficile.
Le projet n'a pas été d'ordre purement technologique : c'était aussi une révolution culturelle pour l'entreprise. Elle devait renoncer à des réflexes nés de décennies de mise en décharge facile et peu coûteuse. CLEF fut donc d'emblée présenté comme un projet d'entreprise auquel tout le personnel était invité à adhérer. Une action de formation fut donc engagée, non seulement pour pousser à l'adoption de nouvelles méthodes mais aussi pour prévenir la production de déchets.
Il était possible en effet de trier et de récupérer certaines matières premières à la source, avant qu'elles ne soient souillées et plus difficilement récupérables. On pouvait aussi dans certains cas éviter de produire des déchets, y compris en réduisant les marges de sécurité habituelles au profit d'une plus grande discipline dans le travail.
L'organisation du travail a elle-même été sensiblement modifiée par les mesures issues du programme. L'usine a été découpée en zones de collecte, avec des responsables de zone coordonnés par un cadre responsable au niveau de l'usine, qui établit chaque mois un tableau de bord des déchets. Les objectifs de tous les responsables d'atelier incluent désormais une cible de réduction des déchets.

Zéro déchet, c'est possible

En 1991, Feursmétal avait mis en décharge 26 641 tonnes de déchets divers. Dès 1996, les mises en décharge sont tombées à 320 tonnes, tandis que 10 650 tonnes de co-produits (le langage a son importance) ont été valorisés en externe. Quant à l'économie de matières premières, elle était proche de 16 000 tonnes.

Le nouveau procédé de fusion a permis d'abaisser d'environ 15 % en cinq ans les coûts d'élaboration du métal liquide, hors matières premières.

Quant aux frais de main-d'œuvre, les activités de tri, de recyclage et de gestion des co-produits ont nécessairement un coût. Or il se trouve que la productivité des ateliers de Feursmétal a progressé de plus de 10 % avec l'application du programme ! Cela s'explique par le travail de réorganisation et de rationalisation entrepris corrélativement au programme, et aussi par les progrès de la qualité.

Le gain social est impossible à chiffrer, mais il est certainement important, au-delà même de la fermeture du crassier. La réduction des déchets a amélioré la qualité de la vie dans la ville de Feurs (sachant que la fonderie est située dans l'agglomération même). Socialement aussi, CLEF est un pas vers le développement durable.

Les clients, anciens et nouveaux

Les clients se sont montrés tout à fait favorables à ces évolutions. Ce sont pour la plupart de grands donneurs d'ordre, qui auditent périodiquement leurs fournisseurs. Désormais, les audits intègrent toujours un volet environnemental, un souci de pérennité, une analyse du risque lié à l'environnement. Le programme a donc apporté un avantage commercial supplémentaire à Feursmétal et à ses partenaires. Le simple fait de s'y être engagé, indépendamment de ses résultats, était déjà un point positif !

A la suite du projet, l'amélioration du niveau de qualité et de l'organisation a permis de gagner de nouveaux marchés, y compris à l'exportation. Cette démarche de conquête a cependant été rendue nécessaire par l'obligation d'abandonner des productions pour laquelle la fonderie ne pouvait plus être compétitive, notamment des productions à faible technicité. Les nouveaux marchés obtenus portent en général sur des produits techniques à forte exigence de qualité, comme les disques de freins pour TGV, par exemple. De nouvelles certifications ont été obtenues.

De plus, l'exploitation des résultats a ouvert la société sur de nouvelles

activités. Feursmétal a décidé de pérenniser l'équipe du projet pour poursuivre les programmes de développement, transférer ses savoir-faire et ses technologies aux autres fonderies de son groupe, mais aussi créer une nouvelle branche d'activité : la division Environnement d'AFE MÉTAL. Aiguillonnée par la fermeture annoncée de son crassier, Feursmétal a pris de l'avance sur la plupart de ses confrères, pour lesquels l'échéance ne se situait qu'au 1er juillet 2002. Son nouveau savoir-faire lui a permis d'évoluer vers des prestations de service à d'autres industries comme la chimie et vers la récupération des piles électriques. Ces diversifications non prévues à l'origine sont des sous-produits directs du projet.

« La diversification n'est venue qu'après le projet, raconte Lionel Picard, mais la transposition progressive des acquis était déjà une amorce de diversification. Nous nous sommes ouverts sur d'autres métiers à partir de 1994, quand nous avons commencé à distinguer les transpositions possibles vers la mécanique ou la forge. Ce sont des métiers connexes, nous les connaissions et nous avons vu ce qu'il était possible de leur apporter. » Cette diversification a permis de créer en 1997 la société Valdi, nouvelle filiale commune de AFE MÉTAL et du spécialiste du recyclage Tredi. Valdi est aujourd'hui l'un des leaders de la valorisation de co-produits et de produits en fin de vie à forte teneur métallique.

L'obligation de traiter ses déchets avant la plupart des autres industriels a ainsi permis à Feursmétal de prendre un temps d'avance sur sa profession et de s'engager dans une activité prometteuse. De plus, il lui a été possible de participer à travers Valdi à la reconversion de la Compagnie Générale d'Électrolyse du Palais en installant une usine d'affinage et de recyclage des métaux non ferreux dans une petite ville du Limousin menacée de désertification industrielle.

Développement industriel durable

Le souci de l'environnement, du recyclage, des économies d'énergie devient une préoccupation constante d'un grand nombre de travaux de R&D, y compris dans les domaines les plus traditionnels.

Les réussites de la R&D dans ce domaine sont réelles. Le cas des chloro-fluoro-carbones (CFC) a marqué les esprits : pour la première fois, une prise de conscience mondiale d'un danger commun a entraîné un

effort concerté pour remédier à la destruction progressive de la couche d'ozone stratosphérique qui protège la Terre contre les ultra-violets. Les CFC ont été bannis par le protocole de Montréal en 1987. Mais si leur élimination a pu intervenir aussi rapidement, c'est parce que certaines entreprises y travaillaient déjà. « La recherche d'Elf Atochem avait quelque peu anticipé les problèmes des CFC, dès le début des années soixante-dix, racontent ainsi Jacques Bodelle et Pierre Castillon. Non pas qu'on ait eu la moindre idée de leur action sur l'ozone stratosphérique, puisqu'elle ne sera découverte que vers 1984. Mais on s'inquiétait malgré tout d'une accumulation possible de gaz aussi stables. Chimistes et ingénieurs avaient donc déjà des pistes. »[9]

L'exemple de Feursmétal n'est donc pas isolé. De nombreux projets de R&D soutenus par l'État portent en tout ou partie sur le développement durable. Parmi les projets soutenus dans le secteur des matériaux en 2000, par exemple, figurent des projets touchant aux batteries rechargeables, à la résistance des revêtements de sol, au vieillissement des élastomères, aux liants non polluants, etc.

Les préoccupations de développement durable tiennent aussi une place significative dans la R&D des autres entreprises présentées dans ce livre. Depuis le début des années 1990, STMicroelectronics s'est voulu une « entreprise citoyenne » et a adopté une politique écologique ambitieuse visant à réduire les déchets toxiques et à mieux utiliser ses ressources. On a vu au chapitre 3 que les premiers temps de STMicroelectronics avaient été difficiles. L'entreprise ne se tirait-elle pas une balle supplémentaire dans le pied en s'imposant de respecter l'environnement ? Non, « l'écologie est gratuite », assure-t-elle, persuadée que l'application de ses principes de préservation de l'environnement a un effet positif sur ses résultats économiques. STMicroelectronics a formalisé cette politique en 1995 dans son *Décalogue de l'environnement.* « Nous sommes convaincus que loin d'être incompatible avec les objectifs économiques de notre groupe, le respect de l'environnement nous aidera à acquérir un considérable avantage concurrentiel », expliquait alors le directeur général, Pasquale Pistorio. « Le passé et les performances de ST démontrent le bien-fondé de cette hypothèse », confirmait-il cinq ans plus tard dans le rapport annuel de la société sur l'exercice 2000. Et de fait, STMicroelectronics est première parmi les sociétés de semi-conducteurs au classement de l'indice Dow Jones Sustainability Group, recensant les sociétés qui « gèrent non seulement les facteurs classiques concernant leurs acti-

(9) Jacques Bodelle et Pierre Castillon, Histoires de recherche*, Elf Aquitaine, Paris 2000*

vités, mais également les facteurs environnementaux et sociaux ». Les nombreuses distinctions qui lui ont été décernées au titre de son action en faveur de l'environnement ne l'empêchent pas d'être rentable, bien au contraire.

Il en va de même pour Plastic Omnium (voir chapitre 2). L'entreprise était certes prédestinée à s'intéresser au recyclage puisque l'une de ses premières activités a été de fabriquer des bacs pour la collecte des déchets ménagers. Comme Feursmétal, elle a trouvé dans l'environnement une voie de diversification prometteuse : elle a lancé une activité de régénération de matières plastiques et tire désormais une partie de sa matière première des bouteilles en plastique provenant de la collecte sélective. Plastic Omnium a aménagé pour sa filiale spécialisée une usine de 30 000 m² en Saône-et-Loire. Il n'est donc pas étonnant que l'un des objectifs explicites du projet Oscar ait été d'intégrer dans les schémas de montage et démontage des pièces et modules l'aptitude à leur recyclage ». De plus en plus, cette préoccupation de gestion du cycle de vie des produits est affirmée dans les projets de R&D des secteurs économiques les plus divers.

Un stimulant imposé par la réglementation et l'opinion

Cette préoccupation est du reste en train de devenir incontournable. Le thème du développement durable ne peut être considéré comme un effet de mode. Le respect de l'environnement sera de plus en plus imposé par la réglementation nationale et européenne comme par l'opinion publique. Sur certains sujets, la contrainte écologique peut être opposée à l'attractivité du territoire, thème évoqué au chapitre 3. Mais cet effet n'est pas univoque : la qualité de vie, des ressources naturelles préservées, un cadre réglementaire clair peuvent aussi être des arguments en faveur de la localisation d'activités de haut niveau.

De plus, une contrainte peut aussi être un stimulant. Par exemple, la perspective d'une taxation des sidérurgistes au titre de leurs rejets de dioxydes les a amenés à se retourner vers leurs fournisseurs d'équipements afin qu'ils leur proposent des fours moins polluants. De même, l'obligation d'équiper les automobiles de pots catalytiques a poussé les équipementiers français à rattraper très vite leur retard dans ce domaine.

Le regard des experts

Comme c'est la règle pour tout dossier, l'octroi d'un soutien au projet CLEF a été précédé par une étude approfondie.
Dans ses contacts habituels avec les entreprises, la DiGITIP se veut souple et pragmatique. Mais attribuer des soutiens financiers à la R&D industrielle, c'est confier de l'argent public à des entreprises de droit privé : cette étape-là exige une grande rigueur. Toute aide fait donc l'objet d'une convention qui définit précisément les obligations des parties intéressées. La préparation de ce document est d'ailleurs l'occasion de compléter et préciser les coopérations entre entreprises.
Avant d'en arriver là, tous les dossiers font l'objet d'un examen détaillé. La DiGITIP mène une réflexion permanente sur ses méthodes. Elle a par exemple développé un guide administratif réexaminé lorsque nécessaire par des groupes de qualité, ainsi qu'une matrice d'analyse des dossiers à partir des travaux de l'OCDE. Mais la validité des outils méthodologiques n'est jamais absolue : les secteurs industriels et les projets de R&D sont trop variés pour s'accommoder d'un filtre unique. Chaque dossier est traité individuellement et donne lieu à discussion avec les entreprises concernées.
Les dossiers font également l'objet d'expertises externes, qui s'intéressent par exemple à des points comme :
- la pertinence et la portée du projet au regard de la demande socio-économique,
- son caractère novateur par rapport à l'état de l'art et de la propriété intellectuelle,
- ses perspectives de retombées scientifiques et techniques,
- la qualité et complémentarité du partenariat,
- la rigueur de la programmation des travaux,
- la clarté de présentation du projet.

Dans certains cas, on procède aussi à une analyse financière, confiée à un établissement bancaire.
Le choix des experts appelés à donner leur avis sur les dossiers est capital. En collaboration avec l'ANVAR, la DiGITIP s'est dotée d'une base de données spécialisées. Cet outil unique, déclaré auprès de la CNIL, s'enrichit progressivement : elle répertoriait 350 experts lors de sa création en 2000 mais pourrait à terme recenser plus de 2 000 spécialistes, issus des universités, des laboratoires publics ou privés et des cabinets de conseil.

L'instruction est conduite par un chargé de mission de la DiGITIP, qui demande éventuellement des précisions supplémentaires, recueille des avis extérieurs et établit une proposition de soutien. Cette proposition est ensuite soumise au Comité de gestion des aides à l'industrie (CGAI), qui est en quelque sorte le « parlement des aides ». Cette procédure relativement lourde garantit un examen objectif des dossiers.
L'étude des projets concerne non seulement leur aspect technologique mais aussi leur volet financier et commercial. Avec, là aussi, une démarche pragmatique : on sait bien qu'un plan d'affaires, si carré soit-il, est plus aléatoire dans les entreprises relevant de la « nouvelle économie ».
Dans les projets menés en collaboration entre entreprises et laboratoires de recherche publique, la DiGITIP s'assure aussi que la répartition des fruits de la R&D est contractuellement déterminée, qu'elle est équilibrée et que l'accord des parties est en bonne voie. Une quantité de considérations peuvent entrer en ligne de compte dans l'examen des dossiers : tri entre ce qui relève de la R&D ou non, chiffrage des dépenses prévues, plans de financement, etc.

Aider les PME à trouver leur place

Avec 43 millions d'euros de chiffre d'affaires et un peu plus de 500 salariés, Feursmétal (filiale du groupe AFE MÉTAL) est la plus petite des entreprises industrielles chef de file d'un projet de R&D présenté dans cet ouvrage. Originalité supplémentaire, ce chef de file n'est pas le plus gros des participants au projet : son partenaire Magotteaux est un groupe beaucoup plus important.
Les PME tiennent une place limitée parmi les bénéficiaires des soutiens de la DiGITIP. Elles sont moins présentes dans la R&D que les grandes entreprises. La création d'un laboratoire utilisé par du personnel spécialisé est soumise à un effet de seuil : seules de grandes entreprises peuvent se permettre d'entretenir des équipes d'ingénieurs et de techniciens consacrées à la R&D. Elles seules ont les moyens de multiplier les projets en comptant les rentabiliser grâce au petit nombre d'entre eux qui réussiront, dans une démarche analogue à celle du capital-risque. Elles sont souvent mieux placées aussi pour exploiter les résultats obtenus. A l'inverse, les petites entreprises jouissent d'une plus grande liberté de manœuvre ; quelquefois, elles se créent même autour d'une innovation.

Entre ces deux extrêmes, les PME sont dans une position plus difficile ; en s'engageant dans un projet de R&D lourd, elles risquent leur vie.
Les atouts respectifs des grandes entreprises et des PME au regard de l'innovation ont fait l'objet d'une étude réalisée à la demande du SESSI. Ses conclusions ont été publiées en octobre 1999 dans le numéro 120 du *4 Pages des statistiques industrielles : Les compétences pour innover dans l'industrie.* « Les grandes entreprises détiennent plus de compétences pour innover que les PMI, tout particulièrement dans les domaines du positionnement sur le marché, de la mise en œuvre de la coopération, de conduite de la R&D, de financement ou de vente de l'innovation, notent ses auteurs. Elles sont aussi globalement plus compétentes que les moyennes et petites entreprises dans les compétences qui relèvent des avantages organisationnels de l'entreprise, mais c'est dans ce domaine que les entreprises moyennes tirent parfois leur épingle du jeu. Les grandes structures fournissent donc un effort important pour corriger les inconvénients de la grande taille en termes de coûts d'organisation et pour tenter de répliquer les avantages que les petites firmes détiennent en matière de souplesse et de réactivité. »
Aux considérations de taille peuvent aussi s'ajouter des difficultés de compréhension entre les dirigeants de PME et les représentants du monde de la recherche. Ces difficultés ne facilitent pas les échanges d'informations ni le transfert de technologies.
Cela ne signifie pas que les PME traditionnelles, indépendantes et non aidées, n'innovent pas. Au contraire, souligne l'étude du SESSI, elles sont à l'origine de nombreuses nouveautés. Elles suivent plutôt un processus empirique, « différent de la R&D au sens classique, plus proche d'un processus de diffusion/adaptation que d'innovation au sens strict ».
Les comportements diffèrent aussi selon les secteurs. Dans ceux de haute technologie, les petites entreprises s'avèrent très ouvertes aux comportements créatifs, même non directement productifs, et au partage des connaissances.
L'idéal, bien entendu, c'est de pouvoir associer les avantages des unes et des autres, la puissance des grands groupes et la réactivité des PME. La solution réside dans la coopération entre entreprises. C'est pourquoi le secrétariat d'État à l'Industrie recherche des projets associant groupes et PME afin que chacun puisse y apporter ses atouts.
Les voies de la R&D industrielle, on l'a vu tout au long de cet ouvrage, sont très diverses et parfois inattendues. Les six cas décrits dans ces pages sont des exemples à suivre mais pas des modèles à imiter : à chaque entreprise de trouver son propre chemin vers la réussite, en

exploitant au mieux ses ressources internes et celles de son environnement. Les soutiens publics sont un élément parmi d'autres de cet environnement. Et si le bon emploi des budgets publics impose naturellement le respect de règles clairement définies, ces règles ne tendent pas à fixer un quelconque « industriellement correct ». Puisque les grandes avancées se font hors des sentiers battus, tout projet de R&D est à proprement parler « exceptionnel ».

Le Réseau National de Recherche en Télécommunications et les PME

Lancé conjointement en 1997 par le secrétariat d'État à l'Industrie et le ministère de la Recherche, le Réseau national de recherche en télécommunications (RNRT) rassemble les acteurs publics et privés de la R&D en télécommunications. Il a pour objectif de dynamiser l'innovation dans ce secteur, notamment en facilitant le transfert technologique vers les entreprises.

La participation des PME dans le RNRT se fait de deux manières. D'une part, le RNRT et l'ANVAR ont lancé un appel à projets conjoint qui leur est destiné, pour des projets portant principalement sur le développement de maquettes. D'autre part, des PME participent aux consortiums déposant des projets coopératifs, de nature exploratoire, précompétitive ou de plate-forme en réponse aux appels annuels du réseau. L'implication des PME dans ces programmes coopératifs amont a fortement augmenté : elles sont désormais présentes dans 45 % des propositions au lieu de 19 % en 1998. Elles contribuent à élargir la communauté de R&D des télécoms, et bénéficient en retour de son organisation et de ses contacts.

Il est intéressant de noter que les PME participantes, presque toutes centrées sur la technologie, présentent des typologies différentes. On peut ainsi distinguer :

• les sociétés bien établies (près de la moitié des participations), comme NetTest (anciennement Photonetics), société créée en 1979 qui conçoit et produit de l'instrumentation et des composants optiques pour les télécommunications à fibres ;

• les sociétés encore jeunes comme la SACET, société d'étude fondée en 1997 sur les communications numériques et les télécommunications sans-fil ;

• les entreprises encore en gestation, comme Netcentrex, qui développe des centraux téléphoniques pour la voix sur Internet et des solutions de centres d'appels sur tous réseaux, Highwave Optical Technologies, spécialiste des composants optiques, ou QoSMOS, qui propose aux opérateurs des solutions techniques de gestion de la qualité de service sur l'internet (les deux premières sont issues de France Télécom, la troisième de l'Université de Paris 6).

Enfin, la création d'entreprise peut également intervenir en cours ou en fin de projet. Ainsi, le projet @IRS (Architecture Intégrée de Réseaux et de Services), lancé en 1998, a contribué à la création de deux entreprises : 6Wind, créée en 2000 à partir de compétences issues de Thales, fabrique des routeurs internet de nouvelle génération (Ipv6), tandis que UDCast, fondée également en 2000 par des chercheurs issus de l'INRIA, offre une technologie innovante de communication par satellite, qui fait d'ailleurs l'objet d'un standard internet.

Annexe 1

Les programmes de soutien à la R&D Les appels à projets

Principaux appels à projets récents lancés par le secrétariat d'État à l'Industrie ou avec sa participation (http://www.industrie.gouv.fr/pratique/aide/appel/f2p_appe. htm et http://www.telecom.gouv.fr/programmes/programmes.htm)

Dans le cadre d'un Réseau de recherche et d'innovation technologique (RRIT)

Appel à projets 2001 du RIAM (Réseau pour la Recherche et l'Innovation en Audiovisuel et Multimédia)

Il existe en France de nombreuses entreprises très dynamiques ayant développé des compétences uniques dans les domaines de la conception et de la réalisation d'œuvres cinématographiques, audiovisuelles et multimédias. La France possède aussi de nombreux centres de recherche travaillant sur les technologies de l'image, du son et de l'interactivité, et la qualité de leurs travaux est internationalement reconnue. Premier appel à projets du réseau RIAM, cet appel à projets fait suite aux précédents Programmes pour la recherche et l'innovation dans l'audiovisuel et le multimédia (PRIAMM) de 1999 et 2000, lancés dans le cadre plus général du Programme société de l'information (PROGSI). Il s'adresse aux professionnels des technologies de l'information et de la communication ainsi qu'aux chercheurs en technologies et en sciences humaines, aux formateurs, aux partenaires institutionnels. Il valorise les coopérations entre laboratoires de recherche et entreprises dans les domaines du cinéma, de l'audiovisuel et du multimédia.

Période : ouvert le 27 avril 2001

Thèmes prioritaires :
• numérisation de la production pour le cinéma et la télévision, édition électronique, programmes interactifs, animation et image de synthèse,
• numérisation, indexation des contenus et gestion des flux audiovisuels,
• droits de propriété intellectuelle et leur protection,
• nouvelles plates-formes de diffusion des programmes,
• socio-économie et usages de l'audiovisuel et du multimédia.

Appel à projets du RNMP
(Réseau National Matériaux et Procédés)

Le Réseau National Matériaux et Procédés a pour objectif de favoriser une coopération technologique plus étroite entre le monde de l'industrie et celui de la recherche.
5 grands domaines techniques sont abordés :
• Conception, élaboration et caractérisation des matériaux,
• Procédés de mise en œuvre et de mise en forme,
• Traitements de surface et assemblage,
• Comportement, durabilité, fiabilité et contrôles associés,
• Procédés et matériaux respectueux de l'environnement - Recyclabilité.

Contrairement à d'autres Réseaux de Recherche et d'Innovation Technologiques, l'appel à projets du Réseau National Matériaux et Procédés est ouvert en permanence.
Les décisions de labellisation sont prises par le Comité d'Orientation (structure paritaire industriels/recherche publique) après évaluation de l'intérêt scientifique, technologique et économique des projets. 3 réunions annuelles du Comité sont prévues.
Selon la nature de leurs objectifs, les projets labellisés sont orientés vers l'une des administrations ou agence (ministère de la Recherche, secrétariat d'État à l'Industrie, ANVAR), qui décide d'un soutien éventuel selon ses règles propres.
Le secrétariat d'État à l'Industrie, quant à lui, soutiendra dans ce cadre des projets pré-compétitifs associant une ou plusieurs entreprises industrielles, notamment des PME-PMI, et un ou plusieurs laboratoires publics.

Appel à projets 2001 du RNRT (Réseau National de Recherche en Télécommunications)

Cet appel à projets était destiné à soutenir des projets de recherche amont en télécommunications mettant en œuvre une coopération entre industriels et recherche publique, en vue de soutenir la compétitivité française à moyen terme, et de valoriser la recherche nationale en favorisant le transfert technologique et le dialogue entre recherche amont et R&D appliquée.

Période : 24 janvier 2001 – 15 mars 2001.

Thèmes prioritaires :

• projets pré-compétitifs, intégrant des technologies pluridisciplinaires pour aboutir à des démonstrateurs préparant l'émergence de nouveaux services ou de nouvelles infrastructures,

• projets exploratoires, s'attaquant à des ruptures ou des limites technologiques pour prouver la faisabilité d'une nouvelle fonctionnalité,

• projets de plates-formes, visant la mise en œuvre d'infrastructures avancées ou l'amélioration substantielle d'une plate-forme existante.

Appel à projets 2001 du RNTL (Réseau National Technologies Logicielles)

L'appel à propositions 2001 du RNTL, lancé le 17 novembre 2000, s'inscrit dans l'action engagée début 2000 par le réseau, qui vise à renforcer et à valoriser le potentiel d'innovation de la communauté française du logiciel, en développant la coopération entre ses principaux acteurs (équipes de la recherche publique et de la R&D industrielle, au sein des PME comme des grands groupes).

Période : 17 novembre 2000 – 7 février 2001

Thèmes prioritaires :

• anticiper sur la technologie des composants logiciels et les architectures d'intégration,

• étendre les systèmes d'information industriels et commerciaux via l'internet,

• interagir via une information multimédia enrichie,

• élaborer une nouvelle conception pour de nouveaux produits,

• enrichir les produits et systèmes par des logiciels enfouis.

Appel à projets 2001 du RNTS (Réseau National Technologies pour la Santé)

L'appel à propositions 2001 du RNTS s'inscrit dans l'action engagée en 2000 par le réseau, qui vise à renforcer et à valoriser le potentiel

d'innovation de la recherche française dans le domaine des technologies pour la santé, en développant la coopération entre ses principaux acteurs (laboratoires publics, R&D industrielle, équipes cliniques).
Période : janvier 2001 – mars 2001
Thèmes prioritaires :
• télémédecine : ambulatoire et à domicile,
• télémédecine : systèmes et réseaux de soins,
• imagerie médicale,
• technologies non chirurgicales d'intervention,
• chirurgie assistée par ordinateur,
• systèmes de suppléance,
• ingénierie tissulaire,
• dispositifs d'analyse biologique intégrés (hors réactifs),
• techniques alternatives de stérilisation.

Appel à projets - Pile à combustible
Le réseau de recherche et d'innovation technologiques Pile à combustible souhaite favoriser le développement des technologies de conception et de production des piles pour deux types d'utilisation : la propulsion automobile et la production d'énergie (électricité et chaleur). Cet appel à projets vise à générer des actions de recherche associative mais aussi préparer la transition vers le marché de la technologie des piles à combustible et favoriser le développement des filières industrielles. Les projets présentés, obligatoirement coopératifs, associent une ou plusieurs entreprises et un ou plusieurs laboratoires publics.
Période : permanent
Thèmes prioritaires :
• Production, purification, transport ou stockage d'hydrogène ou de tout autre combustible destiné aux piles à combustible,
• Systèmes de pile à combustible et ses auxiliaires (procédés de fabrication, produits et optimisation du système, recyclage…),
• Actions transverses liées notamment à la préparation du contexte réglementaire et normatif.

Appel à projets Après séquençage Génomique
La première séquence complète du génome humain a apporté une importante masse d'informations non exploitées, ouvrant de vaste perspectives d'applications. La caractérisation des génomes d'organismes

végétaux, animaux ou micro-organismes ouvre aussi des applications dans toutes les filières biotechnologiques et bio-industrielles. Cet appel à projets visait à faciliter un engagement fort des entreprises, face à une concurrence internationale pressante, dans les domaines du médicament et du diagnostic, des agro-industries, de la sécurité sanitaire et de l'environnement. Un précédent appel à projets Après séquençage Génomique avait été ouvert au deuxième semestre 1999. Les moyens financiers de l'appel à projets, soit 200 millions de francs, ont été apportés à égalité par le secrétariat d'État à l'Industrie et le ministère de la Recherche.

Période : mars 2000 – avril 2000.

Thèmes prioritaires :

• Applications : cibles médicamenteuses et molécules thérapeutiques, compositions agricoles, principes actifs ayant des applications industrielles, outils d'analyse biologique des génomes ou séquences, bio-informatique, robots et bio-puces.

Cet appel a été renouvelé en 2001 dans le cadre du réseau « Genhomme ».

Créé par le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie et le ministère de la Recherche, le réseau « Genhomme » est destiné à favoriser les transferts technologiques entre recherche publique et privée. Il a trait aux recherches en aval du séquençage du génome humain. Il anime des forums afin de favoriser les échanges, et aide au financement de projets proposés en partenariat entre industrie et recherche.

Thèmes prioritaires :

• Bio-informatique,
• Nano-bioingénierie,
• Technologies pour le post-génome,
• Tumeurs,
• Thérapie génique et cellulaire.

Autres appels à projets

Sécurité, ergonomie, confort

Cet appel à projets prolonge le Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (PREDIT), dont la sécurité routière a toujours été l'un des thèmes majeurs. Face au bilan routier français inac-

ceptable (8 000 tués et 39 000 blessés graves par an), il vise notamment à mieux connaître les « mécanismes accidentogènes » et les « mécanismes lésionnels ».
Période : permanent
Thèmes prioritaires :
• Compréhension des déterminants de la conduite,
• Évitement des accidents, y compris par des systèmes d'aide à la conduite,
• Éducation à la sécurité routière, apprentissage de la conduite par les jeunes conducteurs,
• Prévention des lésions en cas d'impact, notamment par une amélioration des matériaux et une meilleure connaissance de la tolérance de l'être humain à l'impact,
• Socio-économique de la sécurité routière, dans une optique de hiérarchisation et d'optimisation des choix.

OPPIDUM « Produits et services de sécurité pour la société de l'information »

La sécurité des traitements et des échanges d'informations est un des facteurs clés du développement du commerce électronique et de la société de l'information. Cet appel à projets visait à favoriser l'émergence de solutions commerciales de sécurité performantes qui permettront des échanges électroniques avec un niveau élevé de confiance. Il fait suite à un précédent appel à projets OPPIDUM lancé dans le cadre du Programme société de l'information (PROGSI).
Période : du 15 février au 30 octobre 2001
Thèmes prioritaires :
• produits et services répondant au besoin de communautés d'utilisateurs,
• composants spécifiques destinés à être intégrés dans des systèmes de sécurité,
• méthodes de développement, référentiels d'évaluation, outils de tests.

PERFORMANCES - Pour une production performante et des produits à fonctions enrichies

Les entreprises prennent de nombreuses initiatives pour s'adapter aux besoins des marchés, réduire les coûts et les délais, améliorer la qualité, développer des produits se distinguant de la concurrence, maîtriser les impacts sur l'environnement, etc. Cet appel à projets de grande envergure, lancé par le secrétariat d'État à l'Industrie et l'ANVAR dans le

prolongement de l'action « Technologies clés », visait à favoriser un élargissement de ces efforts, en particulier en matière d'innovation, afin que cette action s'inscrive dans une démarche intégrée produit/production/organisation visant *in fine* à produire de manière plus performante des produits mieux adaptés aux marchés.
Période : 1999 – 2000
Thèmes prioritaires :
• production performante (production au sens strict, mais aussi contrôle, gestion des flux d'informations et de matières ou de pièces, liaisons avec la conception et avec l'environnement de l'entreprise),
• développement de nouveaux produits à fonctions enrichies, s'appuyant sur des technologies clés et permettant, tout au long de leur cycle de vie, une meilleure prise en compte des besoins du marché,
• Interaction produits-production dans le cadre d'une démarche de production intégrée.

Programmes Eurêka

Programme Eurêka MEDEA +
Le programme MEDEA + (Micro-Electronics Developments for European Applications) est un programme coopératif industriel de R&D, proposé dans le cadre Eurêka, visant à stimuler l'industrie européenne de la microélectronique et les industries utilisatrices.
Il a été labellisé Eurêka en juin 2000 pour une durée de 2 fois quatre ans, incluant une revue intermédiaire, après 4 ans de programme, permettant de préparer les quatre années suivantes.
L'objectif de MEDEA + est de maintenir la compétitivité de l'industrie microélectronique européenne et l'indépendance des industries clientes en mutualisant les forces européennes du secteur afin que l'industrie européenne atteigne une taille critique mondiale et devienne leader dans l'intégration des systèmes sur les puces silicium (system-on-chip).
Ce programme est la suite d'une série de programmes de R&D coopérative européenne dans le domaine de la microélectronique, dont le dernier, MEDEA (1997-2000) s'est terminé avec un bilan particulièrement positif. Il encourage à la fois la coopération verticale et horizontale et accueille grands groupes, PME et laboratoires publics de recherche.

Le programme se focalise sur les applications telles que les télécommunications, les cartes à puce, les terminaux, l'automobile (en s'adaptant aux évolutions du marché et, notamment, à celles de l'internet) tout en conservant un volet visant à conserver la compétitivité du secteur dans le domaine des technologies de base.
Un des objectifs importants de MEDEA + est de développer les coopérations horizontales autour des standards émergents dans le domaine des applications, généralisant ainsi ce qui se pratique dans le domaine des technologies de base. En ce sens, le programme MEDEA + se positionne plus en amont que le programme MEDEA et est plus ambitieux dans ses objectifs.
Le programme MEDEA + est complémentaire des autres programmes de R&D, en particulier du programme ITEA qui le complète dans le domaine des logiciels middleware.
Deux appels à propositions ont été déjà lancés et clôturés respectivement fin 2000 et en juin 2001.
Deux autres appels à propositions seront lancés en 2002 et 2003.

Programme Eurêka EURIMUS

Le programme EURIMUS (Eurêka Industrial Initiative for Microsystems Uses) est un programme coopératif industriel de R&D, proposé dans le cadre Eurêka, visant à stimuler l'industrie européenne des microsystèmes et, corrélativement, les industries utilisatrices (transports, médical, informatique, contrôle industriel, pétrolier, gestion de l'énergie…). Il a été labellisé Eurêka pour la période juin 1998-juin 2003.
L'objectif d'EURIMUS est de susciter des développements innovants et compétitifs de produits à base de microsystèmes ou d'équipements ou de moyens spécifiques pour leur fabrication et d'obtenir une mise sur le marché plus rapide des microsystèmes grâce à la mise en commun au niveau européen des compétences, des capacités de production et des positions sur le marché des partenaires industriels européens.
Les axes de recherche concernent :
- l'intégration de plus en plus poussée des différentes fonctions sur une même plaque de silicium ;
- la mise au point de techniques collectives de connectique, d'assemblage et d'encapsulation ;
- la mise au point d'outils de simulation, de conception et de fabrication assistées par ordinateur ;
- les procédés de base des microtechnologies et l'amélioration de la

compatibilité des technologies entre elles ; la résolution des problèmes liés aux dispositifs d'alimentation et de contrôle des systèmes.
Les secteurs d'application visés sont multiples : périphériques informatiques, transports, médical et biochimie, gestion de l'énergie, contrôle de process industriel, produits de consommation,
Un accent particulier est mis sur la fiabilité en environnement sévère (aéronautique, automobile, géophysique), sur la maîtrise des nouveaux matériaux, sur la résolution de problèmes spécifiques liés aux applications biomédicales ainsi que sur l'amélioration des performances énergétiques.
Les appels à propositions ont lieu tous les 3 mois. A titre d'exemple, en 2001, le calendrier des quatre appels à propositions était le suivant :
- lancement 15/12/00 - label 5/4/01
- lancement 12/3/01 - label 29/6/01
- lancement 14/5/01 - label 11/9/01
- lancement 10/9/01 - label 18/12/01

Programme Eurêka PIDEA
Le programme PIDEA (Packaging and Interconnection Development for European Applications) est un programme coopératif industriel de R&D, proposé dans le cadre Eurêka, visant à accroître la compétitivité de l'industrie électronique européenne par l'amélioration des technologies d'interconnexion et de packaging. Il a été labellisé Eurêka pour la période septembre 1998 - septembre 2003.
L'objectif de PIDEA est de proposer des solutions innovantes d'interconnexion et de packaging en faisant coopérer les acteurs du MCM, des semi-conducteurs, des substrats, des connecteurs électriques/optiques, des claviers, des dispositifs d'affichage… afin de garantir miniaturisation, performances, rapidité, portabilité, puissance et coût des composants, systèmes et sous-systèmes.

Les axes de recherche concernent :
- l'interconnexion des puces silicium et le packaging des composants actifs,
- les autres solutions de packaging (MCM, interconnexion 3D, mémoires, structures hyperfréquences, interconnexions mixtes optiques/électriques,
- les composants passifs,
- les connecteurs (électriques, optiques, hyperfréquences et mixtes),

- les procédés d'assemblage,
- les substrats pour interconnexions électriques, micro-ondes et optiques,
- l'interconnexion des dispositifs d'affichage,
- les logiciels de conception, modélisation et simulation de produits d'interconnexion et de packaging,
- la gestion de la dissipation d'énergie,

Les secteurs d'application visés sont les technologies de l'information, les transports et les procédés de fabrication des produits d'interconnexion et de packaging.

Les appels à propositions ont lieu tous les 3 mois. A titre d'exemple, en 2001, le calendrier des quatre appels à propositions était le suivant :

- lancement 1/12/00 - label 23/3/01
- lancement 1/2/01 - label 15/6/01
- lancement 4/5/01 - label 17/9/01
- lancement 3/9/01 - label 18/1/02

PROGRAMME Eurêka ITEA

Le Programme Eureka ITEA (Information Technology for European Advancement) est un programme de R&D industrielle dédié à la conception et au développement de logiciels pour les systèmes nécessitant une forte part de logiciel. Il se déroule de 1999 à 2006.

Son objectif est le développement d'architectures, de plates-formes et de couches logicielles intermédiaires. C'est sur les plates-formes issues d'ITEA que pourront être construites des applications (produits et services) touchant une grande partie des secteurs de l'économie et de la vie courante.

Le programme se focalise sur six compétences critiques : le multimédia étendu, les communications, les services et informations distribués, le traitement du contenu, les interfaces utilisateurs et la conception de systèmes complexes. Les logiciels standards ainsi produits pourront être utilisés dans les domaines suivants : l'aéronautique et espace, l'automobile, le commerce et les banques, l'informatique et la communication, l'éducation, la santé, la domotique, l'administration, les télécommunications.

Plusieurs types d'innovations importantes vont donc devoir être réalisées, parmi lesquelles on peut citer le développement d'architectures réparties poussées par l'internet et le multimédia et le développement d'architectures embarquées poussées par les systèmes de télécoms

mobiles. ITEA se situe ainsi au carrefour de la convergence entre les télécommunications, l'électronique et l'informatique.
Le rythme des appels à projets est annuel.
De plus amples informations sont disponibles sur le site http://www.itea-office.org où il est également possible de télécharger la roadmap du programme, présentée au chapitre 3.

Annexe 2

Table des sigles

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (réseaux à haut débit)
ADTT	Advanced Digital Television Technologies
ANRT	Agence nationale de réglementation des télécommunications
ARM	Accord de reconnaissance mutuelle
ART	Autorité de régulation des télécommunications
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CERTU	Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
CETIM	Centre technique des industries mécaniques
CFME/ACTIM	Agence pour la promotion internationale des technologies et des entreprises françaises
CGAI	Comité de gestion des aides à l'industrie
CNET	Centre national d'études en télécommunications
CNIL	Commission nationale de l'informatique et des libertés
CPCI	Commission permanente de concertation pour l'industrie
CREDOC	Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie
DiGITIP	Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes
DIRDE	Dépense intérieure de R&D dans les entreprises
DRIRE	Directions régionales de la recherche, de l'industrie et de l'environnement
DVB	Digital video broadcasting

EEA	Embedded Electronic Architecture
EER	Espace européen de la recherche
EURIMUS	Eureka Industrial Initiative for Microsystems Uses
FRT	Fonds de recherche technologique
GSM	Global System for Mobile Communication
HDTV	High definition television
IBC	International Broadcasting Convention
INRETS	Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité
INRIA	Institut national de recherche en informatique et en automatique
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
ITEA	Information Technology for European Advancement
JESSI	Joint European Submicron Silicon Program
LETI	Laboratoire d'électronique, de technologies et d'instrumentation
LNE	Laboratoire national d'essais
MEDEA	Micro-Electronics Development for European Applications
MEDEF	Mouvement des entreprises de France
MENRT	Ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie
MINEFI	Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie
MPEG	Moving Pictures Expert Group
MSTI	Main science and technology indicators
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
PCRD	Programme cadre de recherche et de développement technologique
PIDEA	Packaging and Interconnection Development for European Applications
PME	Petites et moyennes entreprises
PMI	Petite et moyennes industries
PREDIT	Programme interministériel de recherche et d'innovation technologique dans les transports terrestres

PRIAMM	Programme pour l'innovation dans l'audiovisuel et le multimédia
PROMISE	Promoting the Information Society in Europe (PCRD)
RDT	Réseaux régionaux de diffusion technologique
RIAM	Recherche et innovation dans l'audiovisuel et le multimédia
RNMP	Réseau national matériaux et procédés
RNRT	Réseau national de recherche en télécommunication
RNTL	Réseau national de recherche et d'innovation en technologies logicielles
RNTS	Réseau national technologies pour la santé
RRIT	Réseau de recherche et d'innovation technologiques
SESSI	Service des études et des statistiques industrielles
SOITEC	Silicon On Insulator Technologies
SSII	Société de services et d'ingénierie en informatique
TIC	Technologies de l'information et de la communication
UMTS	Universal Mobile Telephone Service

La R&D industrielle une clé pour l'avenir

Six cas exemplaires d'entreprises

La recherche et développement (R&D) industrielle est l'une des activités les moins visibles des entreprises. Elle est pourtant l'une des clés de leur avenir et de la croissance économique. A partir de six exemples de réussites remarquables dans des secteurs différents (équipements automobiles, composants électroniques, édition de logiciels, électronique grand public, matériel de transport en commun, métallurgie), cet ouvrage montre comment les « bons choix » en matière de R&D peuvent faire d'une entreprise un leader mondial, bouleverser son modèle économique ou l'engager dans un nouveau métier.

Des succès tels que ceux décrits ici ne sont jamais acquis à l'avance. Ils supposent la conjonction de nombreux facteurs. Des dispositifs ont été instaurés pour favoriser cette indispensable conjonction. Ils comprennent en particulier,

• des structures de concertation et d'accompagnement qui favoriseront l'éclosion des projets,

• des actions d'incitation qui contribueront à concentrer les efforts sur certains domaines afin d'exercer un effet de levier maximal,

• des financements qui faciliteront la réalisation de projets à fortes externalités.

Ces dispositifs, on le constatera dans ces pages, s'adaptent aux circonstances. Si les mesures adoptées se bornent parfois à un « coup de pouce » qui permet d'accélérer un projet ou de réduire les risques d'une décision, elles peuvent aussi être massives et déterminées quand il s'agit de structurer un secteur d'industrie capital et d'envergure mondiale.

Puissent les six exemples de cet ouvrage inciter beaucoup d'autres entreprises à faire preuve de la même créativité, de la même audace et du même réalisme.

DiGITIP

Direction générale de l'Industrie,
des Technologies de l'Information et des Postes

Cet ouvrage est téléchargeable sur
http://www.industrie.gouv.fr/r&d

CONTACT
Janine Prot, DiGITIP, tél : 01 53 44 93 28,
mél : janine.prot@industrie.gouv.fr

Conception : studio graphique Dircom

ISBN 2-11-092893-X
ISSN 1263-2139

Réf. 01220 C090

DIFFUSION
GRATUITE